



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**PROCEDIMIENTO GENERAL DE DISEÑO HIDRÁULICO DE TRAGANTES PARA
ALCANTARILLADO PLUVIAL**

Alfredo Alejandro Sánchez Herrera

Asesorado por el Ing. Claudio Cesar Castañón Contreras

Guatemala, mayo de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROCEDIMIENTO GENERAL DE DISEÑO HIDRÁULICO DE TRAGANTES
PARA ALCANTARILLADO PLUVIAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ALFREDO ALEJANDRO SÁNCHEZ HERRERA

ASESORADO POR EL ING. CLAUDIO CESAR CASTAÑÓN CONTRERAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MAYO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

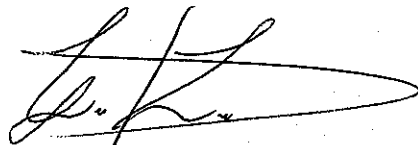
DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. José Gabriel Ordoñez Morales
EXAMINADOR	Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza
EXAMINADOR	Ing. Alejandro Castañón López
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PROCEDIMIENTO GENERAL DE DISEÑO HIDRÁULICO DE TRAGANTES PARA ALCANTARILLADO PLUVIAL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 29 de febrero de 2016.



Alfredo Alejandro Sánchez Herrera



Guatemala,
27 de marzo de 2017

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **PROCEDIMIENTO GENERAL DE DISEÑO HIDRÁULICO DE TRAGANTES PARA ALCANTARILLADO PLUVIAL**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Alfredo Alejandro Sánchez Herrera, quien contó con la asesoría del Ing. Claudio César Castañón Contreras.

Considero que este trabajo está bien desarrollado y representa un aporte para el departamento y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑADA A TODOS

FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
HIDRÁULICA
USAC



Ing. Claudio César Castañón Contreras
Asesor y Jefe del Departamento de Hidráulica

/bbdeb.





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor y del Coordinador del Departamento de Hidráulica Ing. Claudio César Castañón Contreras, al trabajo de graduación del estudiante Alfredo Alejandro Sánchez Herrera **PROCEDIMIENTO GENERAL DE DISEÑO HIDRÁULICO DE TRAGANTES PARA ALCANTARILLADO PLUVIAL** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco

Guatemala, mayo 2017

/mrm.



Mas de 136 años de Trabajo y Mejora Continua



DTG. 244.2017

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **PROCEDIMIENTO GENERAL DE DISEÑO HIDRÁULICO DE TRAGANTES PARA ALCANTARILLADO PLUVIAL**, presentado por el estudiante universitario: **Alfredo Alejandro Sánchez Herrera**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, mayo de 2017

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por ser mi guía en el camino correcto y colocar las oportunidades de crecimiento en cada etapa de mi vida.

Mis padres

Alfredo Sánchez y Delia Herrera, por darme su amor, comprensión y todo lo necesario para convertirme en una persona exitosa. Sus enseñanzas y apoyo hacen todo esto posible.

Mis hermanos

Fredy y Erick Sánchez, por su ayuda incondicional en cada etapa de mi vida y darme la motivación para ser mejor cada día.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la herramienta en mi formación como profesional.
Facultad de Ingeniería	Por darme los conocimientos necesarios para ser un profesional de éxito.
Mi familia	Mis abuelos, tíos y primos. Gracias a todos por su apoyo y su cariño brindado a lo largo de mi vida.
Mis amigos	Gracias por su apoyo, cariño y compañía en cada etapa de la carrera, sería imposible poder nombrar a cada persona que contribuyó en mi formación personal y profesional.
Ing. Claudio Castañón	Por compartir su conocimiento y apoyarme en el desarrollo de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX

1.	GENERALIDADES Y CONCEPTOS BÁSICOS DE HIDROLOGÍA	
	URBANA	1
1.1.	Generalidades	1
1.2.	Conceptos básicos	1
1.2.1.	Drenaje de aguas pluviales en zonas urbanas	2
1.2.2.	Captación de escorrentía superficial urbana.....	3
1.2.3.	Procesos hidrológicos en zonas urbanas	6
1.2.3.1.	Curvas intensidad-duración- frecuencia (IDF)	6
1.2.4.	Tormenta de diseño	14
1.2.5.	Transformación de lluvia en escorrentía superficial.....	15
2.	ESTRUCTURACIÓN DE UN TRAGANTE PARA ALCANTARILLADO	
	PLUVIAL.....	19
2.1.	Tragante	19
2.2.	Elementos de un tragante.....	19
2.2.1.	Entrada	20
2.2.2.	Caja de recolección	20
2.2.3.	Conexión a red de alcantarillado	20

2.3.	Tipología de tragantes.....	21
2.3.1.	Tipos de tragantes según su entrada	21
2.3.1.1.	Tragante de ventana o acera	21
2.3.1.2.	Tragante de rejilla en cuneta	23
2.3.1.3.	Tragante mixto	24
2.3.1.4.	Tragante transversal o de calzada	26
2.3.2.	Tipos de tragantes según su caja.....	27
2.3.2.1.	Tragantes con sello hidráulico o sin el	27
2.3.2.2.	Tragantes con desarenador o sin él	28
3.	CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE TRAGANTES PARA ALCANTARILLADO PLUVIAL	29
3.1.	Ubicación de tragantes.....	29
3.2.	Evaluación de caudal de diseño.....	33
3.2.1.	Método racional.....	33
3.2.1.1.	Hipótesis del método racional	34
3.2.1.2.	Limitaciones del método racional	35
3.2.1.3.	Parámetros del método racional.....	36
3.2.1.3.1.	Coeficiente de escorrentía (C)	37
3.2.1.3.2.	Intensidad de lluvia (I) ...	40
3.2.1.3.3.	Área de drenaje (A)	41
3.3.	Capacidad de captación y eficiencia de la entrada de tragantes	42
3.4.	Selección adecuada del tipo de tragante	46
4.	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.....	49
4.1.	Concepto de tiempo de concentración	49

4.1.1.	Tiempo de entrada o inicial.....	50
4.1.2.	Tiempo de recorrido o de viaje	50
4.2.	Tiempo de concentración mínimo y máximo	51
4.3.	Estimación del tiempo de concentración	53
4.3.1.	Métodos de estimación del tiempo de entrada	53
4.3.1.1.	Método de la FHWA (<i>Federal Highway Administration</i>)	53
4.3.1.1.1.	Tiempo de la trayectoria del flujo laminar (tiempo de entrada)	53
4.3.1.1.2.	Velocidad de flujo superficial concentrado.....	56
4.3.1.2.	Método de la FAA (<i>Federal Aviation Administration</i>).....	57
4.3.1.2.1.	Tiempo de entrada	58
4.3.1.3.	Método de Kerby	58
4.3.1.4.	Método del SCS (<i>Soil Conservation Service</i>)	60
4.3.2.	Métodos de estimación del tiempo de recorrido	61
4.3.2.1.	Ecuación de Manning	61
4.3.2.2.	Método del SCS (<i>Soil Conservation Service</i>)	64
4.4.	Procedimiento para la estimación del tiempo de concentración	64

5.	ANÁLISIS Y DISEÑO HIDRÁULICO DE ELEMENTOS DE UN TRAGANTE PARA ALCANTARILLADO PLUVIAL	75
5.1.	Diseño hidráulico de tragantes	75
5.1.1.	Caudal máximo en cuneta	75
5.1.2.	Diseño de entrada de tragante	80
5.1.2.1.	Tragante de ventana o acera	80
5.1.2.2.	Tragante de rejilla en cuneta	85
5.1.2.2.1.	Diseño de rejilla en puntos bajos	90
5.1.2.3.	Tragante mixto	95
5.1.2.4.	Tragante transversal o de calzada	95
5.1.1.	Diseño de caja recolectora	95
5.2.	Procedimiento general de diseño hidráulico de tragantes para alcantarillado pluvial	98
CONCLUSIONES		101
RECOMENDACIONES		103
BIBLIOGRAFÍA		105
ANEXOS		107

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema del impacto de la urbanización en la cantidad de escorrentía	2
2.	Efecto de la red urbana en la escorrentía	3
3.	Inundación en la ciudad de Guatemala por tormenta de lluvia.....	4
4.	Canalización urbana.....	5
5.	Ejemplo de caracterización de curvas IDF	7
6.	Tormenta de diseño con lluvia constante	15
7.	Intensidad de lluvia de 5 minutos de duración y un período de retorno de 10 años	16
8.	Intensidad de lluvia de 20 minutos de duración y un período de retorno de 30 años	17
9.	Diferencia de escorrentía en cuencas rurales y urbanas	18
10.	Esquema de tragante de ventana o acera	22
11.	Tragante de ventana o acera	22
12.	Esquema de tragante de rejilla en cuneta	24
13.	Tragante de rejilla en cuneta.....	24
14.	Esquema de tragante mixto	25
15.	Tragante mixto	25
16.	Tragante transversal o de calzada	26
17.	Esquema de tragante con sello hidráulico.....	27
18.	Esquema de tragante con desarenador	28
19.	Esquema de ubicación de tragantes	30
20.	Ejemplo de ubicación de tragantes	32

21.	Efecto “fuente” en pozo de visita por caudal que excedió la capacidad de captación de los tragantes	43
22.	Esquema de canal abierto de sección triangular formado en cuneta ...	77
23.	Esquema de canal abierto de sección triangular formado en cuneta ...	79
24.	Esquema de sección transversal de ejemplo.....	82
25.	Esquema de diseño final de tragante de ventana	84
26.	Esquema de sección transversal de ejemplo.....	87
27.	Esquema de sección triangular formado en cuneta	88
28.	Esquema de diseño de rejilla en cuneta	89
29.	Paso a desnivel del bulevar Liberación y 6 avenida zona 9 inundado ..	90
30.	Esquema de curva vertical de ejemplo	92
31.	Propuesta final de rejilla.....	94
32.	Esquema de caja recolectora	96
33.	Inspección y limpieza de caja de tragantes	96
34.	Esquema de caja de tragante y conexión a red de alcantarillado	97

TABLAS

I.	Parámetros A_i , B y n_i para el modelo matemático de curvas IDF. T_r = período de retorno (años); R^2 = coeficiente de determinación.....	10
II.	Límite máximo de superficie de una cuenca para la aplicación del método racional, según distintos autores	36
III.	Coeficientes de escorrentía según el tipo de superficie por drenar.....	38
IV.	Uso de tragante según su tipo de entrada	46
V.	Uso de tragante según su tipo de caja	47
VI.	Coeficiente de rugosidad de Manning	54
VII.	Coeficiente de intercepción	57
VIII.	Coeficiente de retardo del método de Kerby	59
IX.	Constante de la velocidad superficial en la ecuación del SCS.....	61
X.	Coeficiente de rugosidad de Manning en tuberías y canales abiertos	62

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
W	Ancho de inundación
b	Ancho de la rejilla
θ	Ángulo formado por la vertical del bordillo y la pendiente transversal
A	Área
A_0	Área efectiva de captación de rejilla
Q	Caudal
Q_a	Caudal de arrastre
Q_i	Caudal interceptado por la entrada de un tragante
C	Coeficiente de escorrentía
k	Coeficiente de intercepción
m	Coeficiente de retardo
n	Coeficiente de rugosidad de Manning
K	Coeficiente empírico de la FHWA
K_u	Coeficiente empírico de la FHWA
a	Constante de la velocidad superficial
d_e	Depresión de la entrada de tragante
D	Diámetro
t	Duración de la tormenta
E	Eficiencia de la entrada de un tragante
g	Gravedad de la tierra
I	Intensidad de lluvia
Z	Inverso de la pendiente transversal

L_R	Largo de rejilla
L	Longitud
L_v	Longitud de la ventana de tragante
L_F	Longitud de rejilla en sentido del flujo
A_i	Parámetro de ajuste de la intensidad de lluvia
B	Parámetro de ajuste de la intensidad de lluvia
n_i	Parámetro de ajuste de la intensidad de lluvia
S	Pendiente
S_p	Pendiente expresada en porcentaje
T_r	Período de retorno
C	Promedio ponderado del coeficiente de escorrentía
R	Radio hidráulico
H	Suma de tirante de escorrentía y espesor de rejilla
T_c	Tiempo de concentración
T_e	Tiempo de entrada o inicial
T_r	Tiempo de recorrido o viaje
Y	Tirante de escorrentía
V	Velocidad

GLOSARIO

Agua pluvial	Agua que se obtiene a través de la precipitación de una tormenta de lluvia.
Agua residual	Agua que se ha contaminado por el uso del ser humano, ya sea doméstico, comercial, industrial, etc.
Alcantarillado	Conjunto de tuberías y estructuras destinadas al drenaje.
Alcantarillado pluvial	Alcantarillado destinado para el uso de agua pluvial.
Alcantarillado sanitario	Alcantarillado destinado para el uso de agua residual.
Cuenca	Superficie en donde todas las gotas de agua que caen de una tormenta son drenadas por un mismo punto de salida.
Cuenca rural	Cuenca que no ha sido alterada por acciones antropogénicas, o bien, no en grandes cantidades.
Cuenca urbana	Cuenca que ha sido grandemente alterada por acciones antropogénicas.

Cuneta	Canal abierto de sección triangular formado por el bordillo de acera y la pendiente transversal de la calle.
Desfogue	Salida de agua de una cuenca por un punto determinado.
Escorrentía	Agua pluvial que se convierte en un caudal que transita por una superficie.
Hidráulica	Parte de la mecánica que estudia el movimiento y equilibrio de los fluidos.
Hidrología	Ciencia que estudia el agua, sus características físicas, químicas y mecánicas y su comportamiento en el globo terrestre.
Inundación	Acumulación de agua en áreas que normalmente se encuentran libres de ella.
Período de diseño	Tiempo en el cual se espera que las estructuras diseñadas trabajen correctamente.
Período de retorno	Años en los que ocurre una determinada intensidad de lluvia y funciona como parámetro de diseño.
Sistema combinado	Alcantarillado que se destina para el uso de agua residual y pluvial en el mismo sistema.

Sistema separativo

Alcantarillado que usará un sistema individual para el uso de agua residual y otro para el de agua pluvial.

RESUMEN

El desarrollo de este trabajo de graduación presenta inicialmente los conceptos y definiciones generales de los procesos hidrológicos en zonas urbanas, necesarios para realizar un diseño adecuado a la realidad de un tragante para alcantarillado pluvial. Luego, se procede a definir qué es una estructura llamada tragante, definiendo su composición física y los principios de su funcionamiento.

Seguidamente, se desarrollan los criterios correspondientes que dan lugar al adecuado y eficiente funcionamiento de un tragante, tomando en consideración aspectos físicos e hidráulicos de la zona de análisis. También se analiza a fondo el tiempo de concentración, aspecto que define el comportamiento de drenaje de una cuenca y estructuras destinadas a tan importante función.

Finalizando, se realiza un análisis y definición del comportamiento hidráulico que involucra el diseño de cada elemento que conforma un tragante en un sistema de alcantarillado pluvial, para un correcto funcionamiento que considere aspectos de estética, seguridad y eficiencia para peatones y vehículos que transitan las calles de determinada ciudad.

OBJETIVOS

General

Desarrollar una guía para el procedimiento general de diseño hidráulico de un tragante para alcantarillado pluvial, para el estudiante y profesional involucrado en el desarrollo de proyectos de alcantarillado

Específicos

1. Describir de forma teórica las consideraciones por tomar en cuenta para la elaboración de un correcto diseño de tragantes para alcantarillado pluvial.
2. Describir de forma teórica las generalidades más importantes de un tragante en un sistema de alcantarillado pluvial.
3. Desarrollar el análisis y diseño hidráulico de cada uno de los elementos de un tragante para sistemas de alcantarillado pluvial.

INTRODUCCIÓN

En Guatemala gran parte de precipitaciones de lluvia que se generan son de carácter convectivo, es decir, de gran intensidad y corta duración; esto puede ocasionar que los sistemas de alcantarillado, y en específico los tragantes, no desfoguen eficientemente el caudal producido por la intensidad de lluvia. A su vez, esto puede provocar inundaciones en áreas urbanas que afectan la movilización de vehículos por las calles.

Adicionado a la problemática del clima, el diseño inadecuado de elementos básicos que forman parte de un sistema de alcantarillado pluvial, como es el caso de un tragante, puede ocasionar el colapso o bien fallas significativas en el funcionamiento del sistema.

En un sistema de alcantarillado cada elemento cumple una función específica para lograr el buen funcionamiento del sistema; si un elemento es diseñado de una forma errónea, o bien, no es diseñado para funcionar en la situación a la que estará sometido, puede ocasionar que todo el sistema trabaje de forma inadecuada e ineficiente.

Observando la necesidad de información objetiva sobre el diseño de tragantes de aguas de lluvias en los sistemas de alcantarillado pluvial, que forman parte de una de las grandes necesidades del ser humano en cuanto al desfogue de aguas provocadas por tormentas de lluvia se refiere, surge la necesidad del estudio del diseño adecuado de estos elementos en un sistema de alcantarillado pluvial.

Dicho estudio consistirá en la elaboración de una guía del procedimiento general de diseño de cada uno de los elementos que forman parte de un tragante para alcantarillado pluvial, desde la recolección de esorrentía superficial, hasta su introducción al sistema de alcantarillado pluvial.

1. GENERALIDADES Y CONCEPTOS BÁSICOS DE HIDROLOGÍA URBANA

1.1. Generalidades

A medida que el desarrollo urbano alcanza la mayor parte de ciudades como consecuencia del crecimiento poblacional, migración desde zonas rurales, entre otros, la naturaleza y morfología de las cuencas en las que dichas ciudades están posicionadas se ve alterada. El proceso de desarrollo urbano sumado a una tormenta de lluvia, pone a prueba y en repetidas ocasiones demuestra las carencias del sistema de drenajes que poseen las ciudades, como por ejemplo, la de Guatemala.

La red hidrográfica natural suele ser gravemente alterada por la urbanización, perjudicando la capacidad de drenaje de la cuenca original y como consecuencia se aumenta el riesgo de las inundaciones en zonas urbanas. Todos estos aspectos crean la necesidad de la implementación de conceptos básicos de hidrología e hidráulica en áreas urbanas, rama denominada hidrología urbana.

El estudio de la hidrología urbana está motivado por los problemas de inundaciones y contaminación que en las ciudades puede generar el agua de lluvia convertido en escorrentía superficial urbana, drenada al sistema de alcantarillados para ser trasladada a un medio receptor.

1.2. Conceptos básicos

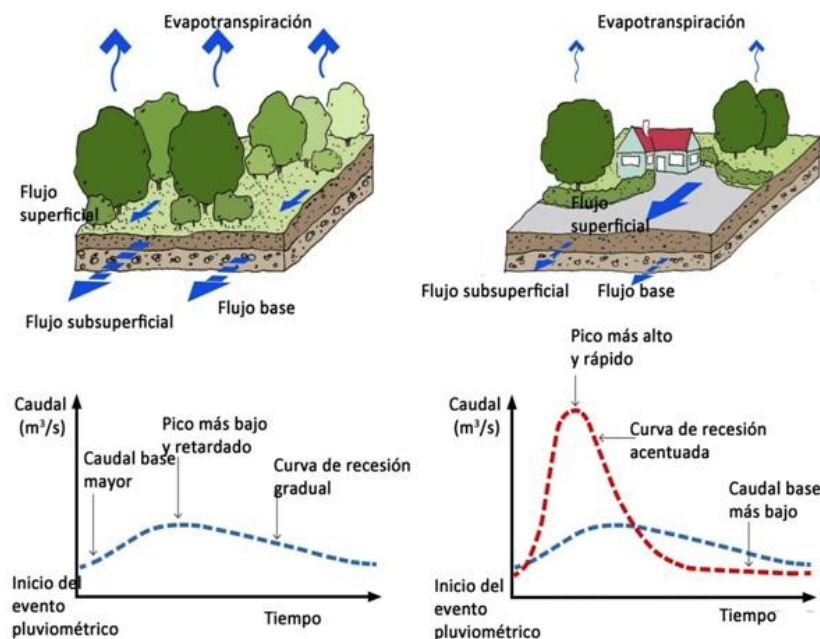
Previo al diseño de un trágante es necesario poseer el conocimiento básico de algunos conceptos que serán de utilidad para el desarrollo del mismo.

1.2.1. Drenaje de aguas pluviales en zonas urbanas

El desarrollo urbanístico de una cuenca provoca que el comportamiento hidrológico cambie radicalmente ante la presencia de una tormenta de lluvia; se hace necesario la modificación del desfogue de aguas con la implementación de colectores y sistemas de alcantarillados.

La urbanización de las ciudades generalmente provoca el incremento de zonas impermeables, produciendo el incremento de escorrentía superficial y reducción de la evapotranspiración e infiltración, por lo cual se necesita un drenado más eficiente y rápido para evitar posibles inundaciones. Este concepto involucra evitar la retención de escorrentía superficial y la infiltración para poder evitar la saturación del suelo.

Figura 1. **Esquema del impacto de la urbanización en la cantidad de escorrentía**



Fuente: <http://drenajeurbanosostenible.org/category/urbanismo-sostenible/>. Consulta: marzo de 2016.

1.2.2. Captación de escorrentía superficial urbana

En Guatemala generalmente predomina el carácter convectivo en las lluvias, es decir lluvias de gran intensidad y corta duración. En zonas urbanas una tormenta de lluvia corta e intensa provoca inevitablemente un mayor volumen de agua y, por lo tanto, un mayor tirante de la escorrentía superficial que se debe transportar por medio de la red subterránea del alcantarillado de la ciudad.

En una cuenca rural, la red hidrográfica era la encargada del transporte y desfogue del agua producida por una tormenta de lluvia, en cambio, en una cuenca urbana la red subterránea de alcantarillado es la designada para cumplir con dicha labor, para evitar inundaciones y permitir la libre circulación vehicular y peatonal por las calles de la ciudad.

Figura 2. Efecto de la red urbana en la escorrentía



Fuente: http://www.meted.ucar.edu/hydro/basic_int/runoff_es/navmenu.php?tab=1&page=3.8.0.

Consulta: marzo de 2016.

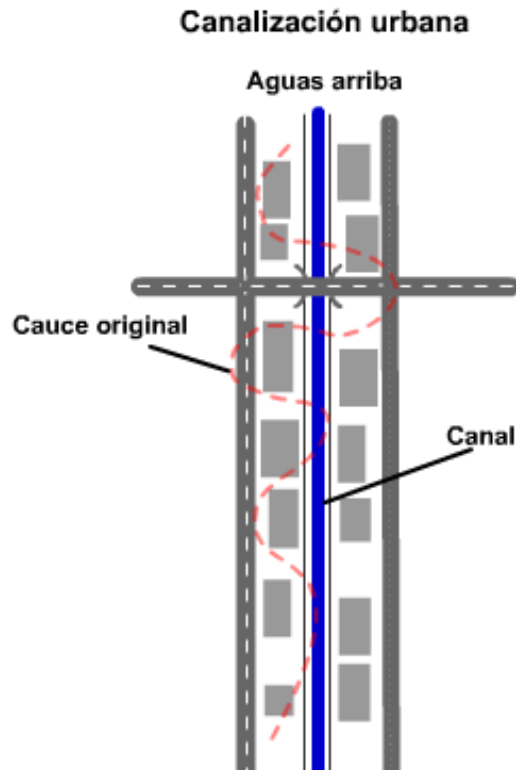
Figura 3. **Inundación en la ciudad de Guatemala por tormenta de lluvia**



Fuente: *El Periódico*. <http://elperiodico.com.gt/2015/07/20/pais/severas-inundaciones-en-area-central-departamental-por-torrencial-lluvia-esta-tarde/#tabs1-html>. Consulta: marzo de 2016.

Para la solución de problemas de inundación y transporte de escorrentía superficial en zonas urbanas, generalmente se plantean soluciones que simulen artificialmente el comportamiento original de la cuenca, antes de la acción antropogénica. Normalmente estas soluciones se dividen en dos grandes grupos: las que tienen como objetivo el aumento de la capacidad de desfogue de aguas de lluvias (sustituyendo a la red hidrográfica de la cuenca original) y las encargadas de la disminución de escorrentía superficial (sustituyendo la capacidad de infiltración natural del suelo).

Figura 4. **Canalización urbana**



Fuente: http://www.meted.ucar.edu/hydro/basic_int/runoff_es/navmenu.php?tab=1&page=3.8.0.

Consulta: marzo de 2016.

Las características hidrológicas de una cuenca urbana obligan a diseñar elementos capaces de captar y desfogar eficientemente la escorrentía producida por tormentas de lluvia, e introducirla a la red de alcantarillado subterránea para retirarla de las calles. Los elementos encargados de cumplir con este papel tan importante en la actualidad son los tragantes, razón por la cual es de suma importancia el diseño adecuado de dichos elementos.

1.2.3. Procesos hidrológicos en zonas urbanas

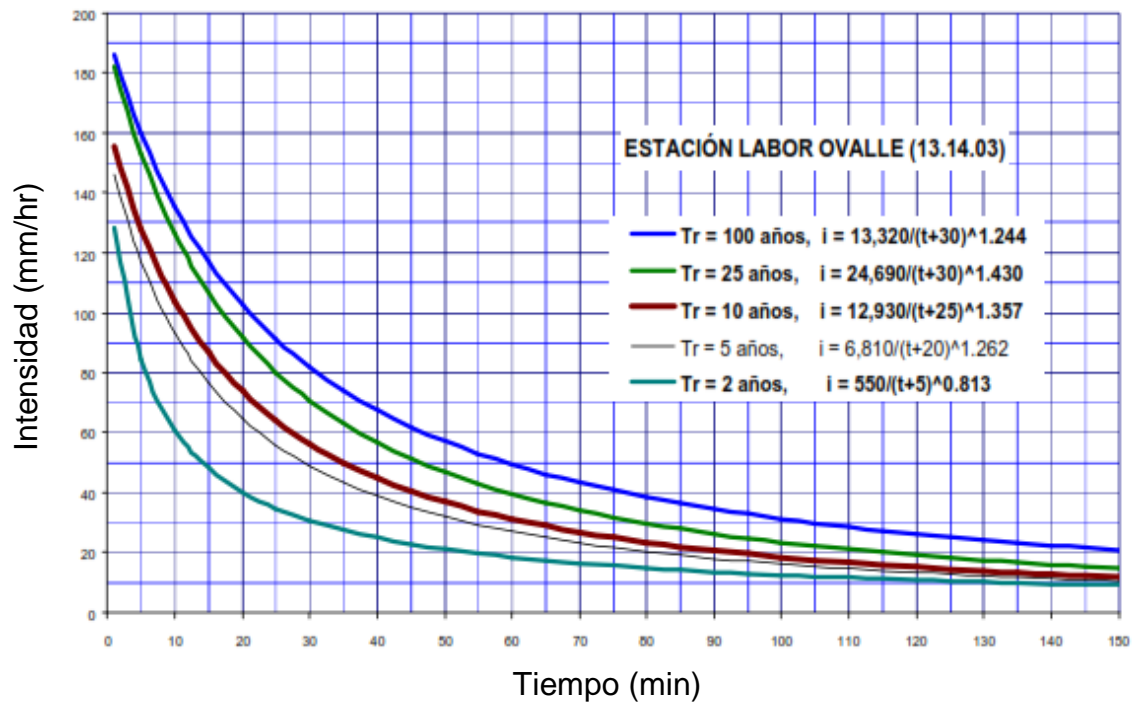
Dentro de los elementos del ciclo hidrológico la precipitación de lluvia será el factor determinante y al cual se dará mayor énfasis para el correcto diseño de un tragante. A través de la lluvia se obtienen relaciones importantes como la de lluvia-escorrentía, la cual determinará el caudal por utilizar en el proceso de diseño.

Para el diseño hidráulico de tragantes de una ciudad será necesaria la obtención de información pluviométrica, mediante la implementación de las curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF).

1.2.3.1. Curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF)

Es una gráfica que relaciona la intensidad, frecuencia y duración de un episodio de lluvia en determinada región. La intensidad de las tormentas decrece a medida que la duración de una tormenta aumenta; para una tormenta de cualquier duración la intensidad de lluvia es directamente proporcional al período de retorno.

Figura 5. Ejemplo de caracterización de curvas IDF



Fuente: INSIVUMEH. *Informe intensidades de lluvia*. p. 8.

Las curvas IDF son una herramienta de gran utilidad para el diseño hidrológico de caudales máximos, cuando se utilizan modelos de lluvia escorrentía como el método racional.

Para determinada cuenca los episodios de lluvia no siempre son iguales, existente discrepancia respecto de las características de una tormenta a otra. Generalmente, las cuencas urbanas suelen ser pequeñas en relación a las cuencas rurales, razón por la cual se considera que una tormenta de lluvia afecta toda el área de la cuenca.

La diferencia de las características entre una tormenta y otra se tiene controlado a través del período de retorno.

Una tormenta es de período de retorno T años si la probabilidad de ser alcanzada o superada en un determinado año es $1/T_r$.

Se ha definido anteriormente que el proceso de urbanización en una cuenca aumenta el caudal producido por un episodio de lluvia, razón por la cual el período de retorno de una determinada tormenta decrece con el proceso de urbanización.

La metodología para la construcción de curvas IDF consiste básicamente en el método estándar de cálculo recomendado por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), en el informe técnico No. 4-88 (*Método estándar de cálculo de curvas de duración-intensidad-frecuencia*, octubre de 1988), el cual se resume en los siguientes pasos:

- Selección de la tormenta. El número de tormentas seleccionadas varía entre 40 y 98, dependiendo de la información disponible, a lo largo de períodos de registro entre 8 y 15 años.
- Discretización del tiempo para cada lectura. En este caso se utilizan intervalos de 5 minutos.
- Definición de la duración de la tormenta. INSIVUMEH realiza lecturas para toda la tormenta, sin importar la magnitud de la intensidad.
- Organización de los hietogramas obtenidos para cada tormenta. Se obtienen magnitudes de intensidad máxima de lluvia para diferentes duraciones.

- Asociación de intensidades de lluvia máxima con frecuencia de ocurrencia. Las magnitudes de intensidad de lluvia máxima se asocian a los períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 30, 50 y 100 años.
- Obtención de las curvas IDF. El tipo de modelo para representar matemáticamente las curvas tiene la forma de:

$$I = \frac{A_i}{(B + t)^{n_i}}$$

Donde:

- I = intensidad de lluvia (mm/hr), asociada a una frecuencia de ocurrencia, representada por el período de retorno (Tr).
- t = duración de la tormenta (min).
- A_i , B , n_i = parámetros de ajuste. Estos parámetros se obtienen mediante regresión no lineal.
- Finalmente, la presentación de las curvas IDF se hace en forma gráfica y en forma tabular. Además, se presentan mapas de isolíneas para duraciones de 5, 20 y 60 minutos, asociados a períodos de retorno de 2, 10 y 30 años.

Para ampliar las características de las estaciones analizadas por el INSIVUMEH en el informe de intensidades de lluvia, se puede consultar el anexo 1 de este documento.

Tabla I. **Parámetros A_i , B y n_i para el modelo matemático de curvas IDF. Tr = período de retorno (años); R2 = coeficiente de determinación**

Tr	2	5	10	20	25	30	50	100
COBÁN								
A_i	1 302	2 770	46 840	39 560	39 060	38 020	36 470	35 420
B	12	16	45	45	45	45	45	45
n_i	0,868	0,968	1,43	1,385	1,381	1,374	1,362	1,353
R2	0,997	0,989	0,996	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995
SAN JERÓNIMO								
A_i	2 040	930	1 510	1 285	1 273	1 265	1 250	1 243
B	20	6	8	7	7	7	7	7
n_i	0,9	0,717	0,79	0,747	0,742	0,739	0,733	0,729
R2	0,992	0,996	0,991	0,991	0,991	0,99	0,99	0,99
ALAMEDA ICTA								
A_i	21 810	105 300	639 800	319 800	311 660	302 850	290 500	283 480
B	35	45	70	65	65	65	65	65
n_i	1,451	1,701	1,954	1,819	1,812	1,805	1,794	1,787
R2	0,995	0,983	0,987	0,985	0,985	0,985	0,984	0,984
ESQUIPULAS								
A_i	3 300	2 060	1 280	1 230	1 225	1 222	1 213	1 205
B	20	11	6	6	6	6	6	6
n_i	0,962	0,836	0,721	0,7	0,696	0,694	0,69	0,686
R2	0,999	0,998	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996	0,996
SÁBANA GRANDE								
A_i	4 485	6 145	33 770	31 550	31 330	31 110	30 760	30 070
B	25	30	40	40	40	40	40	40
n_i	0,973	0,986	1,292	1,273	1,271	1,268	1,264	1,257
R2	0,992	0,993	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989
PUERTO SAN JOSÉ								
A_i	3 033	10 863	403 800	145 300	139 600	136 555	127 530	125 200
B	35	60	140	140	140	140	140	140
n_i	0,87	1,05	1,595	1,383	1,374	1,369	1,354	1,349
R2	0,994	0,976	0,964	0,93	0,929	0,928	0,927	0,927
CAMANTULUL								
A_i	226 260	42 560	27 420	15 540	10 590	10 580	10 300	10 110
B	80	70	65	40	35	35	35	35
n_i	1,654	1,284	1,187	1,1	1,029	1,028	1,02	1,014
R2	0,96	0,984	0,966	0,987	0,987	0,987	0,987	0,987

INSIVUMEH								
A _i	1 970	7 997	1 345	720	820	815	900	890
B	15	30	9	2	2	2	2	2
n _i	0,958	1,161	0,791	0,637	0,656	0,65	0,66	0,649
R2	0,989	0,991	0,982	0,981	0,973	0,973	0,981	0,981
HUEHUETENANGO								
A _i	1 215	4 935	15 870	5 464	5 410	5 395	5 320	5 270
B	11	25	35	17	17	17	17	17
n _i	0,874	1,09	1,292	1,102	1,097	1,095	1,089	1,084
R2	0,997	0,993	0,981	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989
PUERTO BARRIOS								
A _i	2 405	4 850	13 630	11 910	11 680	11 580	11 380	11 240
B	10	18	31	30	30	30	30	30
n _i	0,855	0,933	1,1	1,069	1,063	1,06	1,055	1,05
R2	0,994	0,992	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989
POTRERO CARRILLO								
A _i	58 600	63 000	12 760	1 166	1 010	1 005	995	985
B	40	40	25	5	4	4	4	4
n _i	1,609	1,586	1,27	0,759	0,723	0,72	0,715	0,707
R2	0,993	0,996	0,995	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981
LA CEIBITA								
A _i	1 360	2 080	1 509	1 835	1 825	1 815	1 805	1 795
B	15	19	11	11	11	11	11	11
n _i	0,845	0,879	0,813	0,836	0,833	0,83	0,827	0,822
R2	0,998	0,996	0,992	0,976	0,975	0,975	0,974	0,974
ASUNCIÓN MITA								
A _i	14 400	11 600	10 000	15 100	14 900	14 500	14 100	13 800
B	40	40	40	50	50	50	50	50
n _i	1,252	1,161	1,115	1,158	1,154	1,147	1,139	1,132
R2	0,999	0,998	0,997	0,996	0,995	0,995	0,995	0,995
MONTÚFAR								
A _i	41 490	10 490	12 660	8 700	7 744	7 640	7 460	7 360
B	45	28	32	23	22	22	22	22
n _i	1,454	1,159	1,165	1,069	1,044	1,04	1,032	1,026
R2	0,995	0,994	0,99	0,969	0,969	0,969	0,969	0,969
FLORES								
A _i	4 073	2 570 000	2 320 000	2 170 000	2 160 000	2 160 000	2 130 000	2 130 000
B	15	70	70	70	70	70	70	70
n _i	1,053	2,156	2,124	2,107	2,105	2,104	2,101	2,1
R2	0,997	0,992	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993	0,993

EL PORVENIR								
A _i	8 045	4 890	1 500	1 093	1 083	1 075	1 065	1 060
B	25	20	8	5	5	5	5	5
n _i	1,132	0,997	0,742	0,673	0,668	0,664	0,659	0,655
R2	0,994	0,996	0,991	0,99	0,99	0,99	0,989	0,989
MORAZÁN								
A _i	12 935	15 075	19 570	59 430	57 400	55 670	54 070	53 020
B	27	30	36	50	50	50	50	50
n _i	1,326	1,287	1,296	1,462	1,452	1,444	1,436	1,429
R2	0,998	0,994	0,989	0,986	0,985	0,985	0,985	0,985
LABOR OVALLE								
A _i	550	6 810	12 930	26 890	24 690	23 370	15 860	13 320
B	5	20	25	30	30	30	30	30
n _i	0,813	1,262	1,357	1,458	1,43	1,412	1,294	1,244
R2	0,958	0,993	0,994	0,994	0,992	0,99	0,98	0,978
RETALHULEU								
A _i	5 843	1 991	1 150	1 321	1 315	1 221	1 215	1 217
B	25	14	11	13	13	12	12	12
n _i	1,037	0,769	0,616	0,633	0,63	0,613	0,61	0,609
R2	0,998	0,988	0,976	0,975	0,975	0,974	0,974	0,974
LOS ESCLAVOS								
A _i	6 986	2 855	1 620	1 532	1 365	1 350	1 327	1 311
B	30	20	12	12	11	11	11	11
n _i	1,168	0,94	0,812	0,786	0,76	0,755	0,747	0,741
R2	0,992	0,993	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998
SANTIAGO ATITLÁN								
A _i	1 280	1 001	1 190	1 160	1 020	1 015	1 010	1 008
B	13	12	5	5	4	4	4	4
n _i	0,812	0,705	0,72	0,705	0,677	0,674	0,671	0,668
R2	0,993	0,986	0,991	0,988	0,987	0,987	0,986	0,986
LA FRAGUA								
A _i	2 360	3 980	3 480	844	840	836	831	827
B	19	22	18	7	7	7	7	7
n _i	0,99	1,025	0,983	0,642	0,639	0,637	0,632	0,628
R2	0,994	0,994	0,994	0,927	0,926	0,925	0,923	0,922
LA UNIÓN								
A _i	142 510	87 170	5 460	329 840	311 260	309 080	290 140	279 590
B	50	50	20	70	70	70	70	70
n _i	1,679	1,523	0,986	1,682	1,668	1,666	1,651	1,642
R2	0,995	0,988	0,993	0,993	0,992	0,992	0,992	0,992

Fuente: INSIVUMEH. *Informe intensidades de lluvia*. p. 5.

- Ejemplo

Determinar la intensidad de lluvia para la ciudad capital de una tormenta con período de retorno de 50 años y una duración de 15 minutos.

Solución

Debido a que la zona de análisis es la ciudad capital, la estación a la que corresponden los datos es la estación INSIVUMEH de la cual se obtienen los siguientes datos de la tabla I:

$$A_i = 900$$

$$B = 2$$

$$n_i = 0,66$$

$$R^2 = 0,981$$

Con estos datos obtenidos y la información del problema se tiene todo lo necesario para determinar la intensidad de lluvia.

$$I = \frac{A}{(B + t)^n}$$

$$I = \frac{900}{(2 + 15)^{0,66}}$$

$$\mathbf{I = 138,72 \text{ mm/hr}}$$

1.2.4. Tormenta de diseño

Una cuenca urbana presenta características propias derivadas del proceso de urbanización, por ejemplo, las unidades de medida suelen ser pequeñas en comparación con una cuenca rural. En una cuenca rural la unidad de medida de área es el Km^2 , mientras que una cuenca urbana maneja unidades en hectáreas, esto significa que una hectárea es 100 veces menor que el Km^2 .

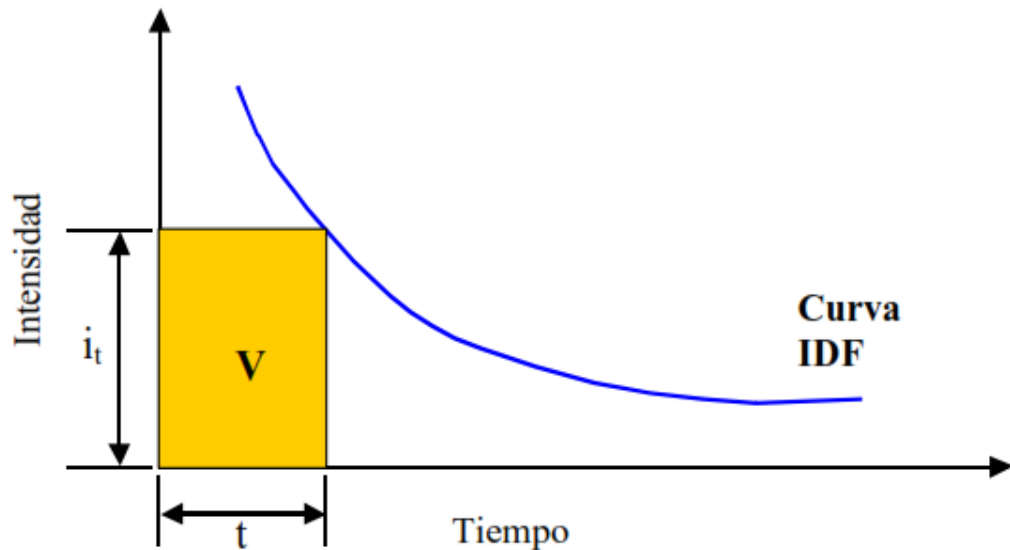
El estudio hidrológico en estas dimensiones afecta directamente los demás factores del mismo. No se obtendrán caudales de miles o cientos de metros cúbicos por segundo como en una cuenca rural, sino caudales de algunos pocos metros cúbicos por segundo.

El factor más determinante de esta disminución de escala de trabajo en una cuenca urbana será el tiempo de los distintos procesos hidrológicos. Los tiempos de concentración se medirán en minutos, razón por la cual, una cuenca urbana en Guatemala será susceptible a lluvias cortas y de gran intensidad, características de la región.

Los tiempos de discretización o intervalos de trabajo de la información correspondiente a una tormenta de lluvia también serán menores a los usualmente asignados en estudios hidrológicos de cuencas rurales. Los tiempos usuales de discretización de 30 minutos y 60 minutos no serán de utilidad en zonas urbanas; se trabajará con intervalos de 5 a 10 minutos e inclusive menores si el tamaño de la cuenca lo demanda.

La tormenta de diseño más sencilla de construir es la que supone una intensidad de lluvia constante durante el tiempo en que se genere la tormenta.

Figura 6. **Tormenta de diseño con lluvia constante**

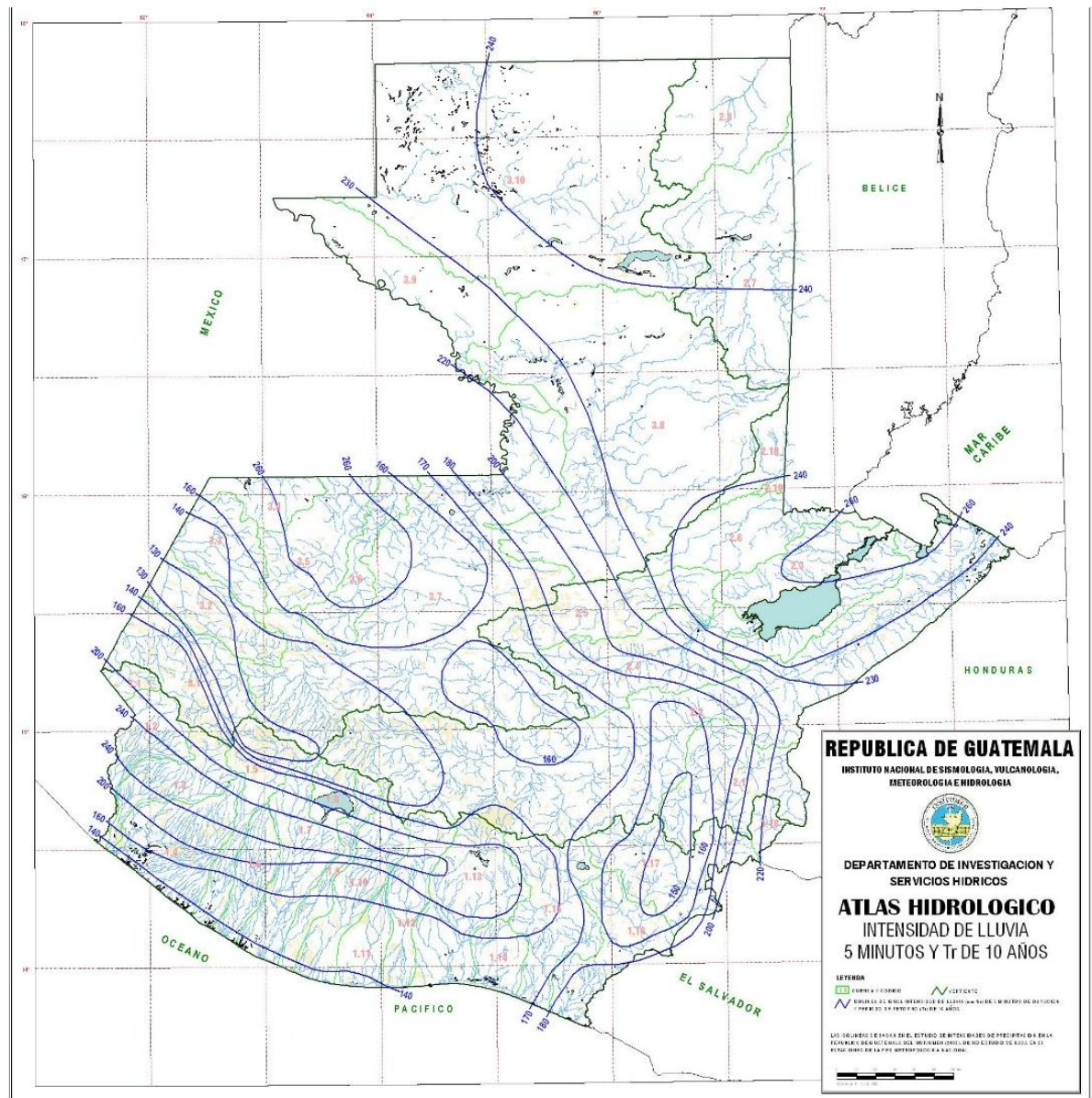


Fuente: GÓMEZ VALENTÍN, Manuel. *Hidrología urbana*. p. 58.

1.2.5. **Transformación de lluvia en escorrentía superficial**

En Guatemala las precipitaciones que se consideran de mayor relevancia para problemas de inundaciones, son aquellas de carácter convectivo típico de la región. Entonces, para el diseño de un tragante se considera como crítico aquel caudal producido por la aportación de escorrentía superficial de toda la cuenca, razón por la que se asume una intensidad de lluvia constante (obtenida de una curva IDF para un período de retorno determinado) durante un tiempo igual al tiempo de concentración de la cuenca urbana.

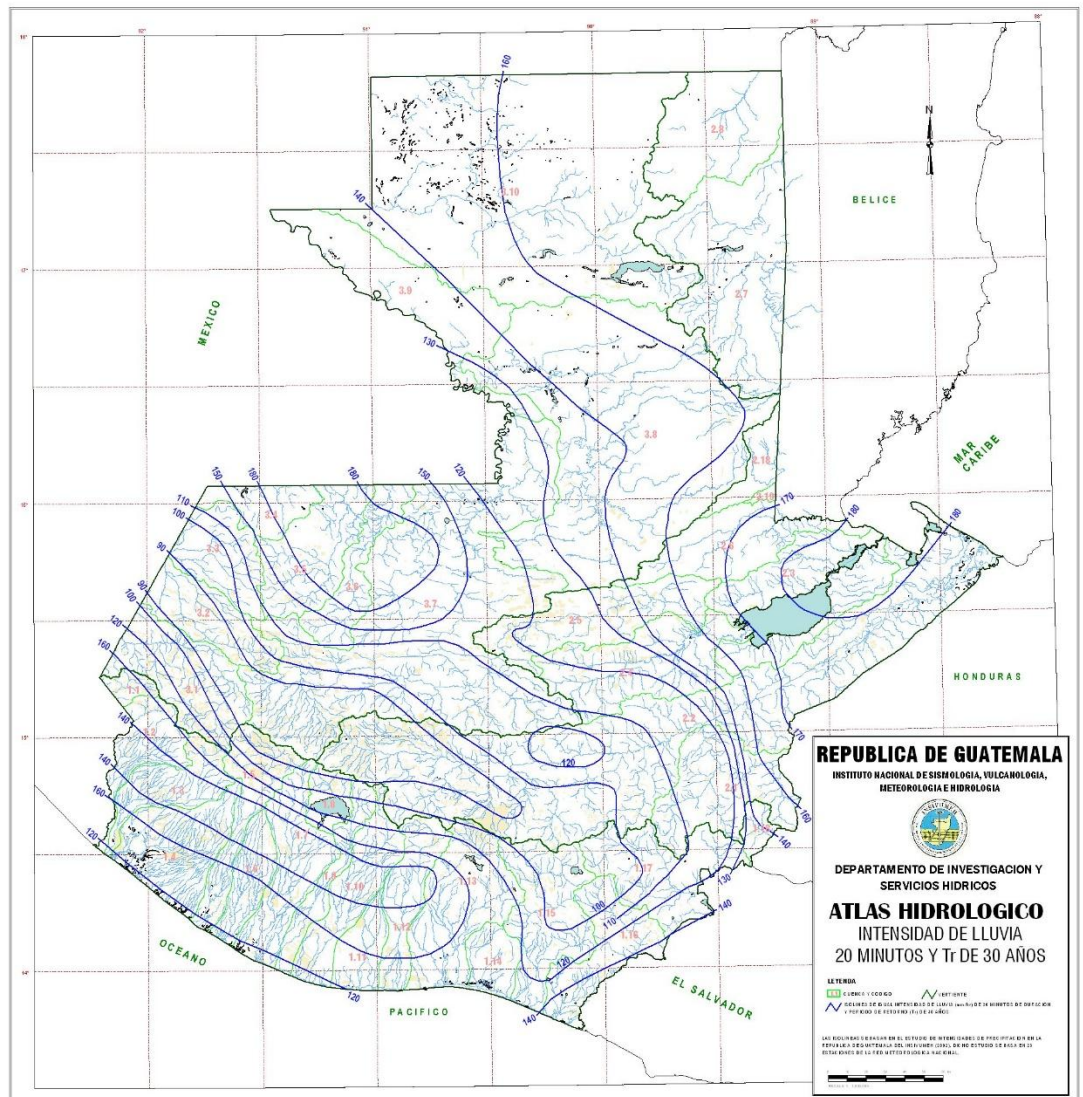
Figura 7. **Intensidad de lluvia de 5 minutos de duración y un período de retorno de 10 años**



Fuente: INSIVUMEH. *Atlas hidrológico*.

http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/ATLAS_HIDROMETEOROLOGICO/Atlas_Hidrologico/int5-10a.jpg. Consulta: marzo de 2016.

Figura 8. **Intensidad de lluvia de 20 minutos de duración y un período de retorno de 30 años**



Fuente: INSIVUMEH. *Atlas hidrológico*.

http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/ATLAS_HIDROMETEOROLOGICO/Atlas_Hidrologico/int20-30a.jpg. Consulta: marzo de 2016.

La hipótesis que se ha realizado en el párrafo anterior es la misma en la que se basa el método racional: intensidad de un episodio de lluvia constante en el tiempo de duración del mismo y uniformidad en el área analizada. El método racional será analizado a fondo en capítulos posteriores de este documento.

Para un tragante se asumirá como crítica la transformación de un episodio de lluvia completamente a escorrentía superficial que transita por las calles de una ciudad y que debe ser captado e introducido eficientemente a la red de alcantarillado subterránea para luego ser trasladada a un medio receptor y evitar así las inundaciones y el paro de actividades socioeconómicas de la ciudad.

Figura 9. **Diferencia de escorrentía en cuencas rurales y urbanas**



Fuente: http://www.meted.ucar.edu/hydro/basic_int/runoff_es/navmenu.php?tab=1&page=4.4.0.

Consulta: marzo de 2016.

2. ESTRUCTURACIÓN DE UN TRAGANTE PARA ALCANTARILLADO PLUVIAL

Se ha estado mencionando que un tragante es el encargado de cumplir con la captación y desfogue de escorrentía superficial producida por una tormenta de lluvia, a continuación se desarrollará el concepto de un tragante.

2.1. Tragante

También llamado sumidero, imbornal o boca de tormenta, dependiendo de la región, es una estructura ubicada en puntos estratégicos de las calles de una ciudad, diseñado con la capacidad de interceptar y captar la escorrentía superficial de las calles de una ciudad e introducirla al sistema de alcantarillado subterráneo, por medio de una tubería conectada a un pozo de visita de la red de alcantarillado. Su propósito es evitar inundaciones en zonas urbanas y permitir el traslado del agua de lluvia a un medio receptor.

Los tragantes pueden ser diseñados para captar escorrentía superficial producida por un episodio de lluvia de manera transversal o lateral a la dirección del flujo y se localizan en zonas de paso vehicular y/o peatonal.

2.2. Elementos de un tragante

Un tragante está formado por diferentes elementos que cumplen una función específica para lograr el buen funcionamiento del mismo. Los elementos que conformen un tragante dependerán del diseño seleccionado. A partir de esta idea se mencionarán las partes más importantes y generales que conforman un tragante, ya que más adelante se anotarán las características específicas de cada tipo de tragante.

2.2.1. Entrada

La entrada es el área o abertura de un tragante, encargada de la intercepción y captación del agua superficial producida por una tormenta de lluvia. Puede ser de distintos tipos y materiales dependiendo de las necesidades de captación.

2.2.2. Caja de recolección

La caja es la encargada de la recolección y almacenamiento temporal del agua captada por la entrada. La caja de un tragante está ubicada bajo la captación y puede ser construida de distintos materiales, como por ejemplo, concreto, sistemas de mampostería, o bien, elementos prefabricados.

En ocasiones, la caja es sustituida por una cuneta, esto si las características hidráulicas y el tipo de tragante lo permite.

2.2.3. Conexión a red de alcantarillado

Un tragante debe estar conectado a un pozo de visita para lograr la introducción del caudal producido por una tormenta de lluvia a la red de alcantarillado, esto por medio de una tubería que conecte a la caja del tragante con un pozo de visita. El diámetro mínimo para la tubería de conexión según la Empresa Municipal de Agua (EMPAGUA), es de 30 cm (12") y se recomienda no utilizar pendientes menores del 2 %, así como no utilizar una longitud mayor de 15 m de conexión.

2.3. Tipología de tragantes

Como se ha anotado con anterioridad un tragante está conformado por la entrada de captación en la superficie de la calle y la caja de recolección ubicada por debajo de la entrada del tragante. Basado en estas dos características, los tragantes se clasifican de la siguiente manera:

2.3.1. Tipos de tragantes según su entrada

De acuerdo con la estructura y diseño de captación los tragantes pueden clasificarse así:

2.3.1.1. Tragante de ventana o acera

Tragante con un sistema de captación lateral al flujo superficial de las calles por medio de una abertura vertical en el bordillo de la acera, de manera que funcione como un vertedero lateral de la calle.

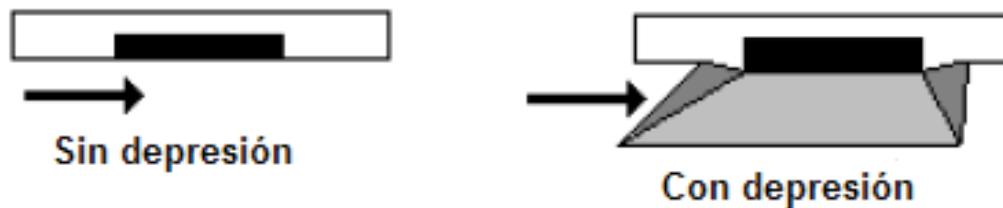
Estos tragantes poseen la ventaja de no interferir con el tránsito de vehículos, gracias a su ubicación lateral a la calle. Debido a que funciona como una ventana abierta, capta muchos sedimentos y basura que se puede acumular en la caja de recolección y evitar el correcto funcionamiento del mismo. Para solucionar este problema se puede implementar una rejilla a la ventana.

La ventana puede estar posicionada al mismo nivel de la calle, o bien, estar a un nivel inferior de la rasante de la calle; a esta última se le conoce como ventana deprimida. La eficiencia de la captación está directamente relacionada con la depresión, ya que se ha comprobado una mayor eficiencia

en ventanas deprimidas y esto no es de gran asombro, debido al funcionamiento de la captación a través de la gravedad.

La eficiencia en la capacidad de captación de un tragante de ventana tiene que ver en gran parte con la pendiente que posee la calle, ya que a mayor pendiente menor es la capacidad de captación del sistema; por lo cual se limita su uso en pendientes no mayores del 3 %. La longitud mínima de la ventana no está normalizada en Guatemala, esta dependerá de la estética y capacidad de captación, en caso de estar deprimida, el ancho de la zona con depresión debe ser entre 0,30 y 0,60 m, con una pendiente no mayor al 8 % hacia la ventana.¹

Figura 10. **Esquema de tragante de ventana o acera**



Fuente: Ministerio del Agua Viceministro de Servicios Básicos. *Reglamento técnico de diseño de cunetas y sumideros*. p. 203.

Figura 11. **Tragante de ventana o acera**



Fuente: elaboración propia, bulevar El Naranjo, zona 4 de Mixco.

¹ LÓPEZ CUALLA, Ricardo. *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillado*. p. 457 - 458.

2.3.1.2. Tragante de rejilla en cuneta

Tragante con un sistema de captación a través de una rejilla colocada en el piso de la cuneta. Para optimizar la capacidad de captación, los agujeros de las rejillas deben ir de forma paralela al flujo de la escorrentía superficial, sin embargo, cuando existe una separación mayor a 2,5 cm se pueden colocar de manera perpendicular al flujo, esto con el propósito de no afectar el tránsito de bicicletas.

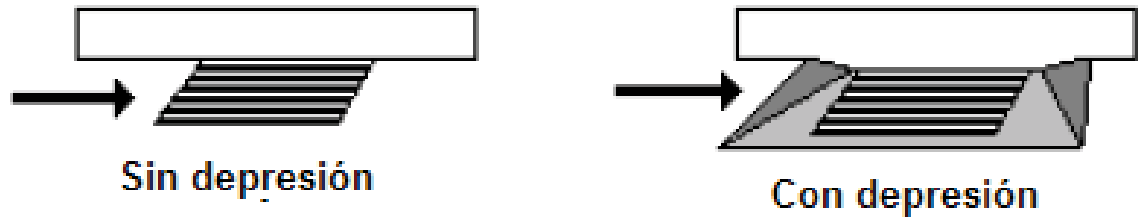
Por su ubicación posee una mayor eficiencia de captación en relación a los tragantes de ventana, en calles con pendientes muy pronunciadas; sin embargo, la acumulación de basura y sedimentos puede disminuir en gran porcentaje su capacidad de captación.

Al igual que un tragante de ventana, la capacidad de captación de este tipo de tragantes puede mejorar deprimiendo la cota de la rejilla respecto de la rasante de la calle. Los tragantes de rejilla en cuneta deprimidos no deben de utilizarse cuando estos ocupen una parte, o la totalidad de la calzada.

Se recomienda no utilizar tragantes de rejilla en cunetas en puntos bajos de la ciudad, a menos que no exista opción de la implementación de un tragante de ventana o acera.²

² BOLINAGA, Juan. *Drenaje urbano*. p. 101.

Figura 12. **Esquema de tragante de rejilla en cuneta**



Fuente: Ministerio del Agua Viceministro de Servicios Básicos. *Reglamento técnico de diseño de cunetas y sumideros*. p. 203.

Figura 13. **Tragante de rejilla en cuneta**



Fuente: elaboración propia, paso a desnivel, centro comercial Majadas, zona 11 Guatemala.

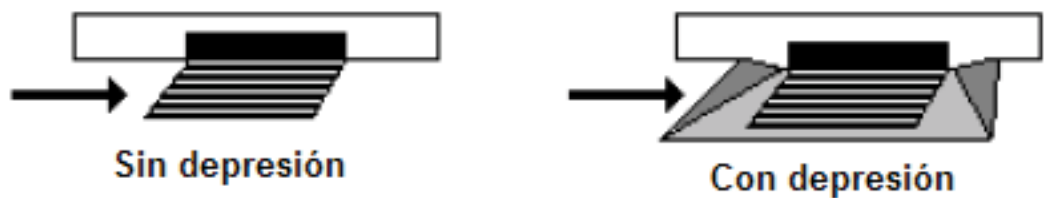
2.3.1.3. Tragante mixto

Es la implementación de un tragante que combine las características de un tragante de ventana y un tragante de rejilla en cuneta. De esta forma se

incrementa la capacidad de captación de la ventana (por lo tanto, se puede disminuir su longitud) y se reduce el ancho de la rejilla en cuneta (para ocupar menos espacio de tránsito en la calle).

Se recomienda el uso de un tragante mixto en situaciones donde, por cuestiones de tránsito, sea necesario el uso de un tragante de ventana, pero cuya eficiencia sea menor del 70 %, debido a la pendiente pronunciada de la calle.

Figura 14. **Esquema de tragante mixto**



Fuente: Ministerio del Agua Viceministro de Servicios Básicos. *Reglamento técnico de diseño de cunetas y sumideros*. p. 203.

Figura 15. **Tragante mixto**



Fuente: elaboración propia, paso a desnivel, bulevar El Naranjo, zona 4 de Mixco.

2.3.1.4. Tragante transversal o de calzada

Tragante que implementa una caja transversal a la calle, cubierta con una rejilla, colocada en la totalidad del ancho de la calle. Posee una gran capacidad de captación debido a su área y capacidad de intercepción del flujo de escorrentía superficial. Al igual que los demás tragantes, su capacidad de captación se reduce con la acumulación de basura y sedimentos.

El uso de estos tragantes se recomienda en circunstancias de gran aporte de escorrentía superficial. Su mayor inconveniente es el posible daño de las rejillas por el peso de vehículos, por lo que se recomienda su uso en zonas de poco tránsito vehicular.

Figura 16. Tragante transversal o de calzada



Fuente: elaboración propia, centro comercial Naranja Mall, bulevar El Naranja, zona 4 de Mixco.

2.3.2. Tipos de tragantes según su caja

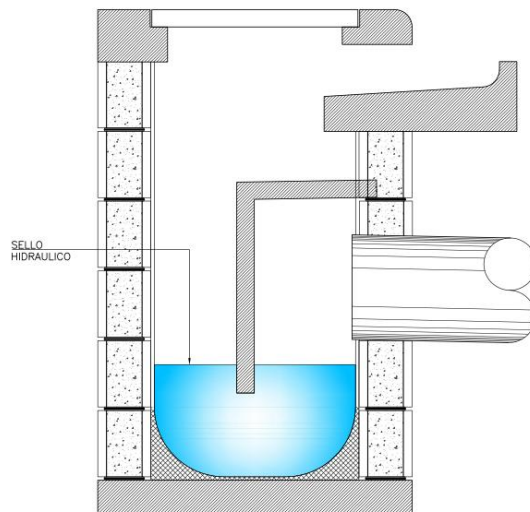
De acuerdo con la estructura y diseño de la caja de recolección los tragantes pueden clasificarse así:

2.3.2.1. Tragantes con sello hidráulico o sin él

En ocasiones es necesaria la implementación de tragantes para alcantarillado pluvial en sistemas combinados, razón por la que se debe implementar un sello hidráulico en los tragantes. El sello hidráulico tiene el propósito de evitar la salida de gases a las calles por medio de los tragantes, gases que pueden producir malos olores y problemas sanitarios a través de la proliferación de los mosquitos.

Un tragante sin sello hidráulico se implementa en casos que el sistema de alcantarillado sea separativo y transporte agua inodora por su naturaleza de origen pluvial.

Figura 17. Esquema de tragante con sello hidráulico



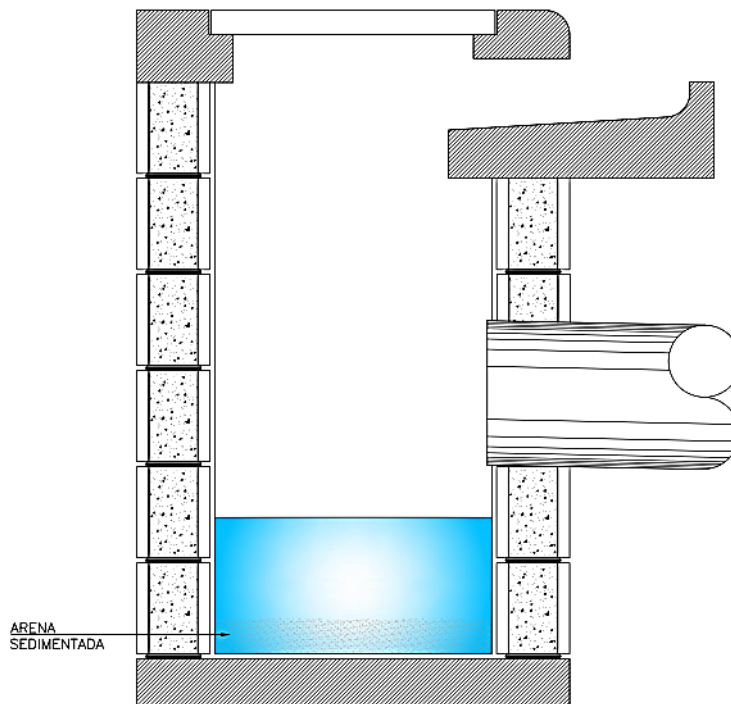
Fuente: elaboración propia con programa AutoCad 2014, ver detalle en anexo 4.

2.3.2.2. Tragantes con desarenador o sin el

Un tragante con sistema desarenador se implementa en sitios donde se espera un gran arrastre de arenas y gravas, ya sea por falta de pavimentación, o bien, por zonas verdes sin capa vegetal. El propósito del desarenador es evitar el transporte de sedimentos hacia la red de alcantarillado.

Si la velocidad de la tubería de conexión es muy baja (menor de 0,6 m/s), también se hace necesaria la implementación de un desarenador para evitar el arrastre de sedimentos.

Figura 18. **Esquema de tragante con desarenador**



Fuente: elaboración propia con programa AutoCad 2014, ver detalle en anexo 5.

3. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE TRAGANTES PARA ALCANTARILLADO PLUVIAL

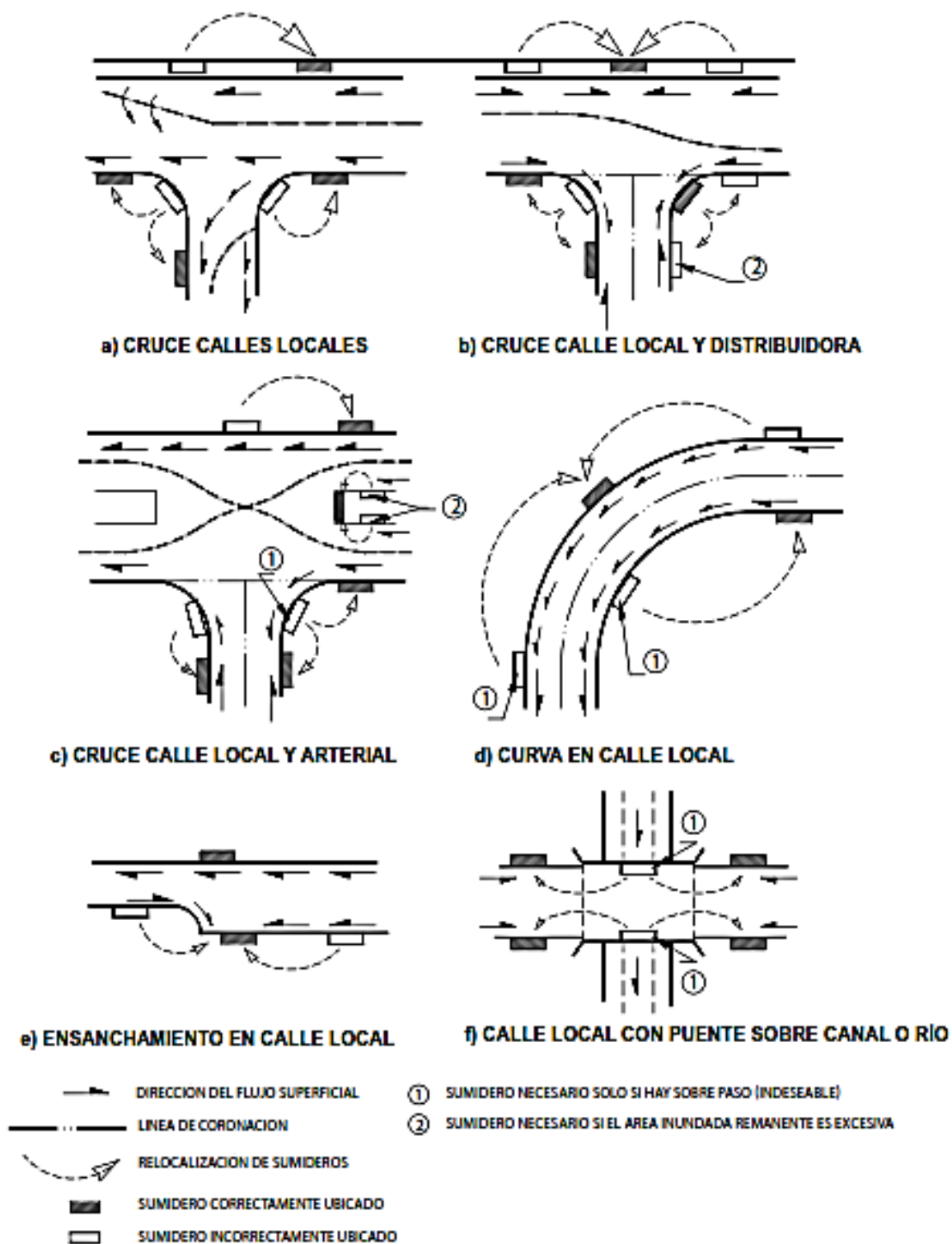
Para el adecuado diseño de un tragante de alcantarillado pluvial se hace necesario tomar en cuenta algunos aspectos para el funcionamiento eficaz y eficiente del tragante diseñado, aspectos que se ampliarán a continuación.

3.1. Ubicación de tragantes

Los tragantes se ubican a lado y lado de la calle y en esquinas por lo menos 3 m antes del cruce peatonal. También deben colocarse en todos los puntos bajos o áreas en las cuales pueda existir acumulación de escorrentía superficial, en las disminuciones de pendientes longitudinales de las calles y antes de puentes vehiculares.

Los tragantes deberán estar ubicados para maximizar la trayectoria de flujo superficial, aprovechar las áreas permeables, y tratar de maximizar el filtrado vegetativo y la infiltración. Por ejemplo, podría ser posible diseñar un estacionamiento para que el agua fluya en las áreas con vegetación antes de entrar en el tragante más cercano.

Figura 19. Esquema de ubicación de tragantes



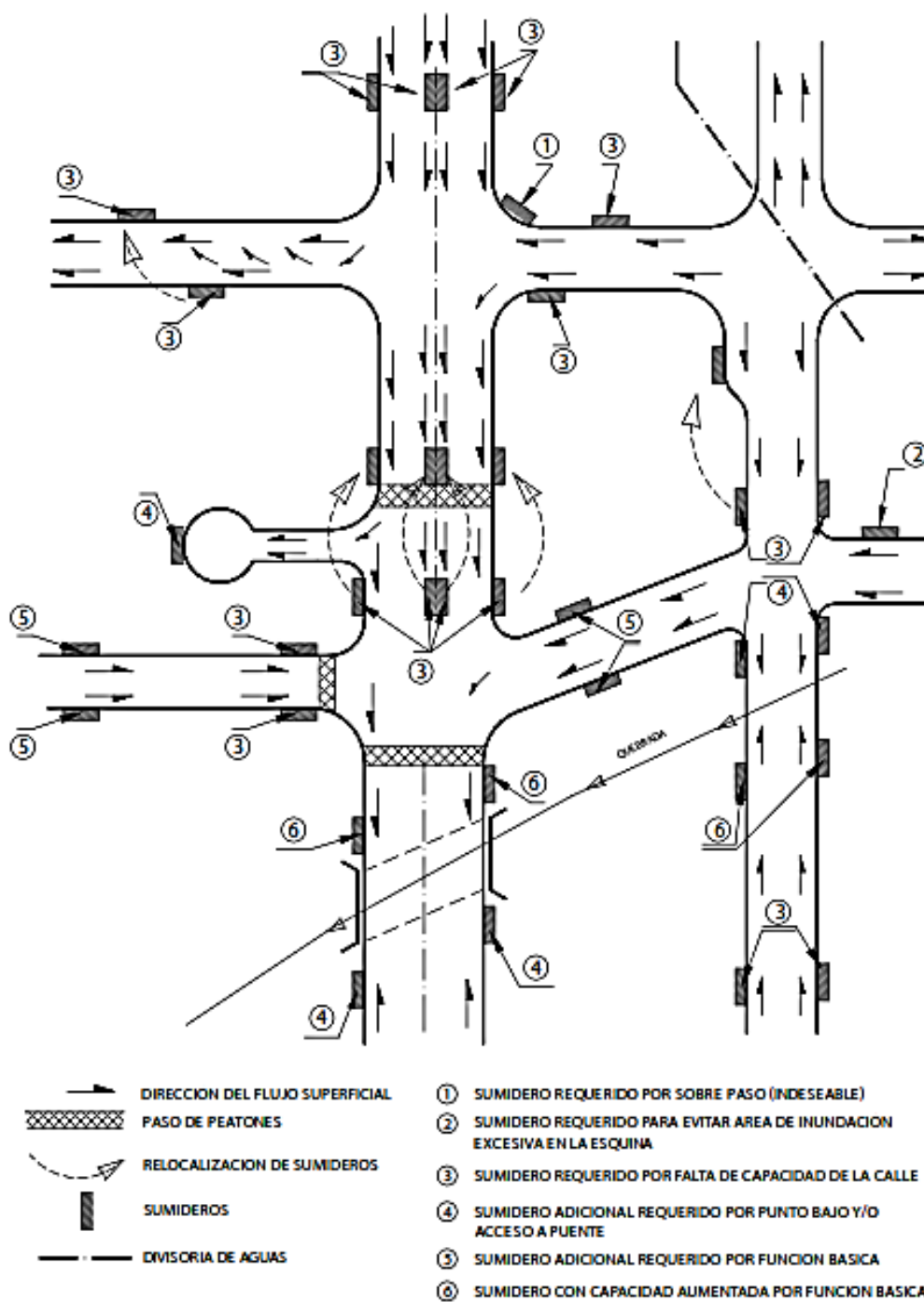
Fuente: BOLINAGA, Juan José. *Drenaje urbano*. p. 91.

La ubicación de un tragante no debe comprometer la seguridad o la estética. No se debe permitir el agua estancada en las zonas de tránsito de vehículos o peatones, pero debe aprovecharse el almacenaje de la depresión natural siempre que sea posible.

Se deben ubicar varias entradas pequeñas en lugar de una entrada grande con el fin de:

- Prevenir la erosión interceptando la escorrentía superficial antes de que se acumule demasiado volumen y velocidad.
- Proporcionar un factor de seguridad. Si una entrada de tragante se obstruye, los otros tragantes pueden recoger el agua.
- Mejorar la estética. Varias entradas más pequeñas serán menos obvias que una entrada grande.
- El menor espaciamiento de las entradas darán a la escorrentía superficial una mejor oportunidad de alcanzar el desagüe. El agua tendrá que viajar más para llegar a una entrada de un tragante grande.

Figura 20. Ejemplo de ubicación de tragantes



Fuente: BOLINAGA, Juan José. *Drenaje urbano*. p. 95.

3.2. Evaluación de caudal de diseño

Como se ha mencionado en capítulos anteriores para el diseño de un tragante se considera como crítico aquel caudal producido por la aportación de escorrentía superficial de toda la cuenca, razón por la que se asume una intensidad de lluvia constante durante un tiempo igual al tiempo de concentración de la cuenca urbana.

Para la determinación del caudal de diseño existen distintos métodos de análisis, en Guatemala no existe un método normado para la determinación del caudal pluvial de diseño para alcantarillados y estructuras de drenaje, sin embargo, el método que cumple con criterios de sencillez, eficiencia y las suposiciones analizadas en el párrafo anterior es el método racional.

3.2.1. Método racional

El amplio uso y aceptación del método racional se debe a su simplicidad y a la facilidad de obtención de los datos necesarios para su aplicación, sin embargo, es de suma importancia tener en cuenta las limitantes del método y aplicar correctamente la metodología.

Este método hace la suposición que el caudal máximo para un punto dado se alcanza cuando el área tributaria está contribuyendo en su totalidad con su escorrentía superficial, durante un período de precipitación máxima y debe prolongarse durante un período de tiempo igual o mayor que el que necesita la gota de agua más lejana para llegar hasta el punto considerado (tiempo de concentración).

El modelo matemático que representa las condiciones mencionadas anteriormente es:

$$Q = \frac{CIA}{360}$$

En donde:

- Q es el caudal máximo en el punto de análisis, expresado en m³/s.
- C es el coeficiente de escorrentía relacionado con las pérdidas de precipitación el cual depende del área por drenar, expresado de forma adimensional.
- I es la intensidad de lluvia correspondiente a un período de retorno dado y un área determinada, expresada en mm/hr.
- A es el área de la cuenca urbana que tributa escorrentía al punto de análisis, expresado en Ha.

3.2.1.1. Hipótesis del método racional

Las suposiciones inherentes que hace el método racional son las siguientes:

- El flujo de escorrentía superficial máximo se produce cuando toda la cuenca urbana está contribuyendo al flujo superficial.
- La intensidad de lluvia es la misma en toda la zona de descarga.

- La intensidad de lluvia es uniforme sobre una duración de tiempo igual al de concentración de la cuenca analizada. El tiempo de concentración es el que tarda toda el área por drenar en aportar a la escorrentía superficial en el punto de salida, así como el instante en el que se produce el caudal máximo en ese punto.
- El coeficiente C de escorrentía es el mismo para todas las tormentas de cualquier período de retorno.
- El período de retorno calculado para el caudal máximo es el mismo que el de la intensidad de lluvia.

3.2.1.2. Limitaciones del método racional

Las hipótesis que realiza el método racional imponen una serie de limitantes para la cuenca analizada, las cuales son:

- La superficie de la cuenca analizada no debe ser muy extensa si se supone una intensidad de lluvia uniforme, esto debido a que son muy usuales las tormentas con variabilidad espacial (esta característica se repite a menudo en el clima guatemalteco).
- Si la intensidad de lluvia debe mantenerse constante en toda la duración de la tormenta analizada, se hace necesario que el valor del tiempo de concentración sea limitado, de forma que se garantice que el tiempo de duración de la tormenta sea por lo menos igual al de concentración de la cuenca analizada.

- Para lograr estar dentro del rango de aceptación de las limitantes anteriores del método racional, se hace necesario restringir la superficie máxima de la cuenca analizada. No existe alguna norma o consenso para las limitantes de la superficie máxima, sin embargo, se puede realizar un rango de lo dicho por varios autores entre 65 Ha y 1 300 Ha.

Tabla II. **Límite máximo de superficie de una cuenca para la aplicación del método racional, según distintos autores**

Autor	Año	Límite de superficie (Ha)
Yevjevich	1992	65
Viessman Etal	1989	130 a 260
Singh	1988	1 300

Fuente: GÓMEZ VALENTÍN, Manuel. *Hidrología urbana*. p. 86

- Las cuencas en las que sus características físicas (tipo de suelo, grado de permeabilidad, pendiente media, etc.) no sean en su mayor parte homogéneas, se deberán dividir en subcuencas de modo que sean lo más homogéneas posible.

3.2.1.3. Parámetros del método racional

Como bien se mencionó anteriormente el método racional está representado por ciertos parámetros que se describen a continuación.

3.2.1.3.1. Coeficiente de escorrentía (C)

El coeficiente de escorrentía es un parámetro del método racional que depende de la superficie del suelo y una serie de otras abstracciones hidrológicas. Este parámetro relaciona el caudal máximo estimado en un máximo teórico de 100 % de escorrentía superficial.

No toda el agua precipitada de una tormenta se convierte en escorrentía que llega a los tragantes, pues cierta parte se pierde por factores como evaporación o infiltración. De todos los factores el de mayor relevancia es el de infiltración, el cual está en función la impermeabilidad del área por drenar.

La determinación exacta del coeficiente de escorrentía es muy difícil, ya que existen factores que pueden hacer que con el tiempo varíe el valor de este. Por ejemplo, las pérdidas por infiltración disminuyen con la duración de la tormenta, ya que el suelo se satura cada vez más a medida que transcurre la duración de la tormenta.

Según Manuel Gómez Valentín, aunque se dice que el método racional puede definirse de forma teórica, por el uso de coeficientes de carácter experimental y que debe ser seleccionado por el usuario buscando las características que más se asemejen a la realidad, implica cierto grado de empirismo. No obstante, en superficies con gran impermeabilidad (cuencas urbanas) los coeficientes de escorrentía tienden a 1 y se mueven en intervalos relativamente pequeños, lo que genera muy poca variación en la selección del coeficiente para áreas de drenaje urbano.

Tabla III. **Coeficientes de escorrentía según el tipo de superficie por drenar**

Tipo de área por drenar	Coeficiente de escorrentía C
Zona comercial	
Centro de ciudad	0,70 - 0,95
Áreas vecinales	0,50 - 0,70
Zona residencial	
Áreas unifamiliares	0,30 - 0,50
Bloques aislados	0,40 - 0,60
Bloques conectados	0,60 - 0,75
Residencial suburbana	0,25 - 0,40
Apartamentos en áreas residenciales	0,50 - 0,70
Zona industrial	
Áreas ligeras	0,50 - 0,80
Áreas pesadas	0,60 - 0,90
Zonas verdes y especiales	
Parques, cementerios	0,10 - 0,25
Terrenos de juego	0,20 - 0,40
Ferrocarriles	0,20 - 0,40

Áreas inmejoradas	0,10 - 0,30
Zonas de grama	
Suelo arenoso, plano, 2 %	0,05 - 0,10
Suelo arenoso, promedio, 2 % – 7 %	0,10 - 0,15
Suelo arenoso, empinado, 7 %	0,15 - 0,20
Suelo arcilloso, plano, 2 %	0,13 - 0,17
Suelo arcilloso, promedio, 2 % – 7 %	0,18 - 0,22
Suelo arcilloso, empinado, 7 %	0,25 - 0,35
Calles	
Asfálticas	0,70 - 0,95
Concreto	0,80 - 0,95
Adoquinadas	0,70 - 0,85
caminamientos	0,75 - 0,85
Cubiertas	0,75 - 0,95
Nota: Los valores más altos son generalmente apropiados para zonas con fuerte pendiente y períodos de retorno más largos, esto debido a la infiltración y otras pérdidas que tienen un efecto proporcionalmente menor en la esorrentía en estos casos.	

Fuente: Federal Highway Administration. *Urban drainage design manual*. p. 3-6

Con frecuencia, la superficie por drenar no es homogénea y, por lo tanto, el coeficiente de esorrentía tampoco lo es, en este caso se debe realizar un promedio ponderado; que tenga en cuenta el porcentaje de área cubierta por cada tipo de superficie.

$$C = \frac{CA}{A}$$

En donde:

- C es el promedio ponderado del coeficiente de escorrentía, expresado de forma adimensional.
- C es el coeficiente de escorrentía de cada área específica, expresado de manera adimensional.
- A es el área específica de cada tipo de superficie, expresado en Ha.

3.2.1.3.2. Intensidad de lluvia (I)

Este parámetro se obtiene a través de un estudio hidrológico de la zona, analizando la información pluviográfica del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), del cual se obtienen las curvas de intensidad, duración y frecuencia.

Es importante no olvidar que con base en las curvas IDF, la intensidad es inversamente proporcional a la duración y directamente proporcional a la frecuencia de la tormenta de lluvia. Para obtener el valor de intensidad de lluvia se debe seguir el método estándar de cálculo recomendado por el INSIVUMEH.

3.2.1.3.3. Área de drenaje (A)

Para la determinación del área de drenaje se trazan diagonales o bisectrices por las calles y planimetrando el área tributaria de cada tragante. Por lo general, para la aplicación del método racional en la determinación del caudal de entrada a los tragantes, se posee conocimiento previo del esquema del alcantarillado pluvial (esquema de drenaje), motivo por el cual la determinación de este parámetro es relativamente sencillo.

En la determinación del área tributaria se debe tomar en consideración aspectos del drenaje natural de la cuenca como la topografía del terreno y también aspectos artificiales de la cuenca, como la red de alcantarillado y estructuras de captación de caudal superficial (tragantes).

- Ejemplo

Se necesita conocer el caudal de escorrentía superficial que generará una tormenta con intensidad de lluvia de 150 mm/hr, en una superficie de concreto con dimensiones de 10 m x 50 m.

Solución

Para determinar el caudal de escorrentía que generará una tormenta se utilizará el método racional.

Debido a que la superficie de análisis es de concreto, de la tabla III se observa que el rango del coeficiente de escorrentía C está entre 0,80 y 0,95; entonces se tomará un valor intermedio de 0,90.

Para determinar el caudal por el método racional se necesita conocer el área de la superficie por drenar en hectáreas, entonces:

$$A = 10 * 50$$

$$A = 500 \text{ m}^2$$

$$A = 500 \text{ m}^2 * \frac{1 \text{ Ha}}{10\,000 \text{ m}^2}$$

$$A = 0,05 \text{ Ha}$$

Con estos datos obtenidos se tiene lo necesario para determinar el caudal de escorrentía que generará la tormenta.

$$Q = \frac{CIA}{360}$$

$$Q = \frac{0,90 \quad 150 \quad (0,05)}{360}$$

$$Q = 0,019 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

3.3. Capacidad de captación y eficiencia de la entrada de tragantes

La capacidad de una entrada de tragantes depende de su geometría, pendiente transversal, pendiente longitudinal, tirante de la escorrentía superficial, área tributaria, rugosidad de la superficie por drenar, entre otros. La profundidad del agua al lado de la acera (tirante de escorrentía superficial)

es el principal factor en la capacidad de intercepción, tanto de tragantes de ventana como de tragantes de rejilla en cuneta.

A velocidades bajas, la totalidad del agua que fluye en la sección ocupada por el tragante de rejilla en cuneta, llamada flujo frontal, es interceptada por las entradas de la rejilla, y una pequeña porción del flujo a lo largo de la longitud de la rejilla, denominado flujo lateral, es interceptado. En las pendientes pronunciadas solo una parte del flujo frontal será interceptado, si la velocidad es alta o la rejilla es corta puede ocurrir el efecto “fuente”. Para rejillas de menos de 0,60 m de largo, el flujo interceptado es pequeño.

Figura 21. **Efecto “fuente” en pozo de visita por caudal que excedió la capacidad de captación de los tragantes**



Fuente: Scoopnest. http://www.scoopnest.com/es/user/prensa_libre/742946482429566976.

Consulta: junio de 2016.

La capacidad de captación de la entrada de un tragante, es el flujo interceptado por una entrada bajo un conjunto determinado de condiciones. La eficiencia de una entrada, es el porcentaje del flujo total que la entrada interceptará para esas condiciones. La eficiencia de una entrada varía con los cambios en la pendiente transversal, la pendiente longitudinal, flujo total superficial, y en menor medida, la rugosidad de pavimento. En forma matemática, la eficiencia, se define por la siguiente ecuación:

$$E = \frac{Q_i}{Q} * 100$$

En donde:

- E es la eficiencia de la entrada del tragante, expresada en porcentaje
- Q_i es el caudal interceptado por la entrada del tragante en m^3/s
- Q es el caudal total superficial en m^3/s

El flujo que no es interceptado por una entrada de tragante se denomina flujo de arrastre o “*bypass*” y se define de la siguiente manera:

$$Q_a = Q - Q_i$$

En donde:

- Q_a es el flujo de arrastre, expresado en m^3/s

La capacidad de captación de todas las configuraciones de entrada se eleva con el aumento de la tasa de flujo, y la eficiencia de entrada generalmente disminuye con el aumento de la tasa de flujo. Los factores que afectan el flujo del canal también afectan la capacidad de captación de la entrada. La profundidad del agua al lado de la acera es el principal factor en la capacidad de captación de las dos entradas: la de ventana y la de rejilla en canal. La capacidad de interceptación de una entrada de rejilla depende de la cantidad de agua que fluye sobre la rejilla, su configuración, su tamaño y la velocidad del flujo en el canal. La eficiencia de una rejilla depende de los mismos factores y el flujo total en el canal.

La capacidad de captación de una entrada de ventana depende en gran parte de la profundidad del flujo al lado de la acera y la longitud de la ventana. La profundidad del flujo al lado de la acera y, por consiguiente, la capacidad de captación y eficiencia de la entrada es aumentada con el uso de una depresión en la entrada, o bien, una canal continuamente deprimida para aumentar la proporción del flujo adyacente a la acera.

La capacidad de captación de una entrada combinada no difiere sustancialmente de una entrada solo de rejilla. La capacidad de captación y eficiencia son dependientes de los mismos factores que afectan la capacidad de captación y eficiencia de una entrada de rejilla. Una entrada combinada consiste en una abertura en la acera colocada al lado de una entrada de rejilla, tiene una capacidad de captación igual al de la longitud de la ventana, más el de la rejilla, teniendo en cuenta la propagación y profundidad reducida del flujo sobre la rejilla debido a la interceptación por parte de la abertura en la acera.

Esta configuración de entrada tiene la ventaja añadida de interceptar los residuos que de otra manera podrían obstruir la rejilla y desviar el agua lejos de la entrada.

3.4. Selección adecuada del tipo de tragante

La selección del tipo de tragante apropiado es de suma importancia, pues esta selección depende de la capacidad de captación, eficiencia hidráulica, localización de la entrada, seguridad peatonal y de bicicletas y condiciones de carga.

Tabla IV. **Uso de tragante según su tipo de entrada**

Tipo de tragante según su entrada	Descripción de uso
Tragante de ventana o acera	En pendientes menores de 3 %
Tragante de rejilla en cuneta	En pendientes mayores de 3 %
Tragante mixto	En donde por condiciones de tránsito se necesita un tragante de ventana, pero cuya eficiencia sea menor del 70 % por la pendiente pronunciada.
Tragante transversal o de calzada	En condiciones de gran aporte de escorrentía superficial. Se recomienda su uso en áreas de poco tránsito vehicular.

Fuente: elaboración propia, con programa Word 2013, según Ricardo Alfredo López Cualla.

Tabla V. **Uso de tragante según su tipo de caja**

Tipo de tragante según su caja	Descripción de uso
Tragante con sello hidráulico	En sistemas de alcantarillado combinado o situaciones que el agua recolectada contenga mal olor.
Tragante con desarenador	En situaciones donde se espera un gran arrastre de sedimentos

Fuente: elaboración propia, con programa Word 2013, según Ricardo Alfredo López Cualla.

4. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

El concepto de tiempo de concentración de una cuenca o zona urbana sigue siendo el mismo que el concepto clásico de hidrología, es decir, el tiempo que tarda una gota de lluvia en recorrer la distancia entre el punto más lejano hidráulicamente y el punto de análisis.

4.1. Concepto de tiempo de concentración

Asumiendo las suposiciones realizadas por el método racional, el tiempo de concentración es equivalente al tiempo desde el inicio de una tormenta de lluvia hasta el instante en el que se alcanza el caudal máximo, en otras palabras, el momento en que toda la cuenca aporta a la escorrentía superficial.

El tiempo de concentración es dependiente de las características morfológicas de la cuenca, como por ejemplo: forma de la cuenca, características de relieve, características de red de drenaje, etc.; estos favorecen o perjudican el drenaje de la escorrentía superficial. Por otra parte, un factor determinante para el tiempo de concentración es la intensidad de lluvia, pues la velocidad del flujo superficial varía según el caudal de escorrentía producido.

Como bien se ha mencionado en la sección 1.2.1 de este documento, la urbanización de las ciudades generalmente provoca el incremento de zonas impermeables y reducción de la evapotranspiración e infiltración, además de aumentar la densidad de drenaje y capacidad de desagüe de la cuenca. Esto provoca un mayor volumen de escorrentía superficial y un menor tiempo de salida de la misma.

En un área urbana se puede distinguir dos tipos de flujo en el proceso en el que la escorrentía es drenada por completo de la cuenca, el primero es el que se produce desde el momento en que la lluvia hace contacto con la superficie hasta que la escorrentía producida es introducida a la red de drenaje (a través de los tragantes), y el segundo es el flujo que se transporta a través de la red de alcantarillado.

Con base a lo mencionado en el párrafo anterior el tiempo de concentración está compuesto por dos tiempos importantes por considerar.

4.1.1. Tiempo de entrada o inicial

Es el tiempo transcurrido entre momento del comienzo de la tormenta de lluvia y el instante en que la escorrentía superficial producida es introducida a la entrada del tragante.

Este tiempo inicial depende de las características del área que se va a drenar, por ejemplo: el porcentaje de pendiente y el tipo de terreno por drenar. Este oscila entre 5 y 20 minutos.

4.1.2. Tiempo de recorrido o de viaje

Es el tiempo que se produce al transportar el flujo a través del interior de la red de alcantarillado. Al producirse a través de las tuberías hidráulicamente bien definidas es relativamente fácil la obtención de datos, este tiempo dependerá de la velocidad y longitud de la tubería entre pozos de visita.

El tiempo de concentración puede definirse con la siguiente expresión:

$$T_C = T_e + T_r$$

En donde:

- T_C es el tiempo de concentración expresado en minutos
- T_e es el tiempo de entrada expresado en minutos
- T_r es el tiempo de recorrido expresado en minutos

4.2. Tiempo de concentración mínimo y máximo

En Guatemala no existe una entidad o reglamento nacional que regule los rangos del tiempo de concentración mínimo y máximo, solamente la entidad que presta el servicio puede definir estos valores. En Guatemala la entidad que debería regular estos aspectos es la Municipalidad de cada sector, aunque se utilizan reglamentos como el de diseño y construcción de drenajes de la Empresa Municipal de Agua (EMPAGUA), estos no rigen aspectos tan específicos como el tiempo de concentración y no son normas que se deben cumplir por ley.

El tiempo de concentración inicial depende de las características del terreno y como se mencionó anteriormente no existe una norma que rijan este parámetro, sin embargo, diversos autores sugieren un rango que oscila entre 5 y 20 minutos. En zonas altamente impermeables y con la mayoría de área por drenar conectada directamente a la red de alcantarillado, el tiempo de entrada

oscila entre 5 y 10 minutos; mientras que en zonas permeables y con menos infraestructura de captación se alcanzan los 15 a 20 minutos.

El tiempo de recorrido depende de la velocidad y longitud de la tubería, pero la velocidad dentro de la tubería del sistema de alcantarillado no está definida en un 100 %. El valor de esta depende de las características físicas de la tubería y del caudal que se transporta. El caudal que transporta la red de alcantarillado varía respecto del tiempo y, por lo tanto, el valor de la velocidad no es constante.

Para realizar una estimación del valor de la velocidad, diversos autores sugieren utilizar la velocidad que corresponde al caudal de circulación máximo en la tubería. Sin embargo, se debe tener en consideración que el tiempo de concentración, y por lo tanto el tiempo de viaje, se determinan antes de realizar un estudio hidrológico (antes de conocer el caudal máximo que transporta la tubería). Lo cual quiere decir que en ocasiones la determinación del tiempo de recorrido puede ser un proceso iterativo.

El tiempo de concentración total (inicial más el de recorrido en la tubería) mínimo es de 10 minutos y máximo de 20 minutos, según Ricardo Alfredo López Cualla. En los pozos de visita en los cuales se incorporen dos colectores con tiempos de concentración distintos, se debe seleccionar el tiempo de concentración mayor, para el cual se producirá el caudal máximo si para toda el área de drenaje llueve con esa duración.

4.3. Estimación del tiempo de concentración

Hay una serie de métodos que pueden utilizarse para estimar el tiempo de concentración (T_c), no hay un estándar o método único correcto que pueda aplicarse para este procedimiento, esto debido a que han sido deducidos de forma empírica.

4.3.1. Métodos de estimación del tiempo de entrada

A continuación se describirán algunos de los métodos más utilizados en el desarrollo de proyectos de drenaje urbano, estos deben usarse con amplio criterio teniendo en cuenta las características de la región en donde se aplicarán, ya que como se mencionó en el párrafo anterior se dedujeron empíricamente.

4.3.1.1. Método de la FHWA (*Federal Highway Administration*)

Este método consiste en calcular la velocidad del flujo en los distintos segmentos individuales de la trayectoria del mismo.

4.3.1.1.1. Tiempo de la trayectoria del flujo laminar (tiempo de entrada)

Es el volumen de escorrentía superficial en un área plana (sin abruptas deformaciones) con una profundidad uniforme en toda la superficie inclinada. Esto ocurre generalmente en distancias relativamente cortas, raramente más que unos 130 m y, posiblemente, menos de 25 m.

La trayectoria del flujo laminar se estima comúnmente con una versión de la ecuación de onda cinemática, un derivado de la ecuación de Manning, como se verá a continuación:

$$T_e = \frac{K}{I^{0,4}} \frac{n L}{S}^{0,6}$$

En donde:

- T_e es el tiempo de entrada expresado en minutos.
- K es el coeficiente empírico igual a 6,92 en el sistema internacional (0,933 en sistema inglés).
- I es la intensidad de lluvia en mm/hr.
- n es el coeficiente de rugosidad de la tabla VI.
- L es la longitud de flujo en m.
- S es la pendiente de la superficie en m/m.

Tabla VI. **Coeficiente de rugosidad de Manning**

Tipo de superficie	n
Asfalto liso	0,011
Concreto liso	0,012
Revestimiento de concreto ordinario	0,013

Buena madera	0,014
Ladrillo con mortero de cemento	0,014
Arcilla vitrificada	0,015
Hierro fundido	0,015
Tubo de metal corrugado	0,024
Escombros de cemento	0,024
Barbecho (ningún residuo)	0,050
Suelos cultivados	
Cobertura de residuos $\leq 20 \%$	0,15
Cobertura de residuos $> 20 \%$	0,24
Cordillera (natural)	0,41
Gramas	
Pradera de grama corta	0,15
Gramas densas	0,24
Gramas tipo bermuda	0,41
Bosque *	
Maleza no muy densa	0,40
Maleza densa	0,80
* Al seleccionar n, considerar la cubierta a una altura de unos 3 cm. Esta es solo una parte de la cubierta vegetal que obstruya el flujo laminar.	

Fuente: Federal Highway Administration. *Urban drainage design manual*. p. 3-9.

El único inconveniente de este método es que el tiempo de entrada está en función de la intensidad de lluvia, razón por la cual involucra realizar una iteración adicional para corroborar el tiempo de entrada.

4.3.1.1.2. Velocidad de flujo superficial concentrado

Después de cortas distancias de más de 130 m, el flujo laminar tiende a concentrarse en arroyuelos y cárcavos después de proporciones crecientes. Tal flujo se denomina generalmente flujo superficial concentrado. La velocidad de este flujo se puede calcular mediante una relación entre la velocidad y pendiente de la siguiente manera:

$$V = K_U k S_p^{0,5}$$

En donde:

- V es la velocidad expresado en m/s.
- K_U es el coeficiente empírico igual a 1,0 en el sistema internacional (3,28 en sistema inglés).
- k es coeficiente de intercepción de la tabla VII.
- S_p es la pendiente de la superficie expresada en porcentaje.

Tabla VII. **Coeficiente de intercepción**

Cobertura del suelo / régimen de flujo	k
Bosque con cubierta vegetal densa; prado de heno (flujo superficial)	0,076
Basura en barrecho o cultivo de labranza mínima; franja de cultivo; bosque (flujo superficial)	0,152
Pastos de hierba corta (flujo superficial)	0,213
Fila recta cultivada (flujo superficial)	0,274
Casi desnudo y sin cultivar (flujo superficial); abanicos aluviales en las regiones de las montañas	0,305
Por vías de césped (flujo concentrado de poca profundidad)	0,457
Sin pavimentar (flujo concentrado de poca profundidad)	0,491
Área pavimentada (flujo concentrado de poca profundidad); pequeños barrancos de montaña	0,619

Fuente: Federal Highway Administration. *Urban drainage design manual*. p. 3-10.

Con el valor de la velocidad del flujo superficial concentrado se procede a calcular el tiempo de entrada, para esto, la FHWA utiliza la ecuación de la SCS que se analizará en la sección 4.3.1.4 de este documento.

4.3.1.2. Método de la FAA (*Federal Aviation Administration*)

Este método se utiliza frecuentemente para el cálculo de la escorrentía superficial en áreas urbanas.

4.3.1.2.1. Tiempo de entrada

El tiempo de entrada del método de la FAA está representado por la siguiente ecuación:

$$T_e = \frac{0,707 \cdot 1,1 - C \cdot L^{\frac{1}{2}}}{S^{\frac{1}{3}}}$$

En donde:

- T_e es el tiempo de entrada expresado en minutos
- C es el coeficiente de escorrentía de la tabla III
- L es la distancia recorrida por la escorrentía superficial expresada en m
- S es la pendiente de la superficie expresada en m/m

4.3.1.3. Método de Kerby

Se basa en una expresión en las características de la superficie que se drenará y se incorpora un coeficiente de retardo, el cual puede ser determinado a través del tipo de superficie por drenar. El método de Kerby está representado por la siguiente expresión.

$$T_e = 1,44 \cdot \frac{L \cdot m}{S^{\frac{1}{2}}}^{0,467}$$

En donde:

- T_e es el tiempo de entrada expresado en minutos
- L es la longitud del segmento expresado en m
- S es la pendiente de la superficie de drenaje en m/m
- m es el coeficiente de retardo de la tabla VIII

Tabla VIII. **Coeficiente de retardo del método de Kerby**

Tipo de superficie	m
Impermeable	0,02
Suelo sin cobertura, compacto y liso	0,10
Superficie sin cobertura moderadamente rugosa	0,20
Pastos	0,30
Terrenos arborizados	0,70
Pastos densos	0,80

Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*. p. 437

4.3.1.4. Método del SCS (*Soil Conservation Service*)

Este método se desarrolló con el propósito de calcular el tiempo de entrada en función de la velocidad media del flujo superficial de una superficie de drenaje y una distancia de recorrido; se le representa con la siguiente expresión:

$$T_e = \frac{L}{60 V}$$

En donde:

- T_e es el tiempo de entrada expresado en minutos
- L es la longitud del segmento expresado en m
- V es la velocidad superficial del flujo expresado en m/s

En este método para estimar el tiempo de entrada, la velocidad superficial del flujo puede aproximarse de la siguiente manera:

$$V = a S^{\frac{1}{2}}$$

En donde:

- V es la velocidad superficial del flujo expresado en m/s
- a es la constante que depende del tipo de superficie de la tabla IX
- S es la pendiente de la superficie de drenaje en m/m

Tabla IX. **Constante de la velocidad superficial en la ecuación del SCS**

Tipo de superficie	<i>a</i>
Bosques con sotobosque denso	0,70
Pastos y patios	2,00
Áreas cultivadas en surcos	2,70
Suelos sin cobertura	3,15
Áreas pavimentadas y tramos iniciales de quebradas	6,50

Fuente: LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*. p. 437

4.3.2. Métodos de estimación del tiempo de recorrido

A continuación se describirán algunos de los métodos más utilizados en el desarrollo de proyectos de drenaje urbano para la estimación del tiempo de recorrido.

4.3.2.1. Ecuación de Manning

El flujo en las calles desemboca en canales abiertos o tuberías. La sección transversal, geometría y rugosidad deberán obtenerse para todos los tramos de canal abierto y tubería en la cuenca. La ecuación de Manning se puede utilizar para estimar velocidades promedio del flujo en tuberías y canales abiertos de la siguiente forma:

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

En donde:

- V es la velocidad expresado en m/s.
- n es el coeficiente de rugosidad de la tabla X.
- R es el radio hidráulico (definido como área del flujo dividido el perímetro mojado), expresado en m.
- S es la pendiente del canal abierto o tubería expresado en m/m.

Tabla X. **Coeficiente de rugosidad de Manning en tuberías y canales abiertos**

Material del conducto	n
Conductos cerrados	
Tubería de concreto	0,010 – 0,015
Tubería de metal corrugado	0,011 – 0,037
Tubería de plástico (liso)	0,009 – 0,015
Tubería de plástico (corrugado)	0,018 – 0,025

Secciones de pavimento / cunetas	0,012 – 0,016
Pequeños canales abiertos	
Concreto	0,011 – 0,015
Escombros o enrocado	0,020 – 0,035
Vegetación	0,020 – 0,150
Suelo desnudo	0,016 – 0,025
Corte en roca	0,025 – 0,045
Canales naturales (arroyos menores, ancho superior al nivel de inundación < 30 m (100 pies))	
Sección bastante regular	0,025 – 0,050
Sección irregular con piscinas	0,040 – 0,150
Nota: los valores más bajos son generalmente para tuberías y canales bien construidos y mantenidos (más lisos)	

Fuente: Federal Highway Administration. *Urban drainage design manual*. p. 3-14

Conociendo la velocidad del flujo en el sistema de alcantarillado se puede determinar el caudal que se transportará en tuberías y canales abiertos de la siguiente forma:

$$Q = V A$$

En donde:

- Q es el caudal expresado en m³/s.

- V es la velocidad expresado en m/s.
- A es el área de la sección transversal de la tubería o canal abierto, expresado en m².

4.3.2.2. Método del SCS (*Soil Conservation Service*)

El tiempo de recorrido se puede calcular con la misma expresión anteriormente planteada, en función de la velocidad media en las tuberías del sistema de alcantarillado y la longitud de las mismas.

$$T_r = \frac{L}{60 V}$$

En donde:

- T_r es el tiempo de recorrido expresado en minutos
- L es la longitud del segmento de tubería expresado en m
- V es la velocidad superficial del flujo en la tubería expresado en m/s

4.4. Procedimiento para la estimación del tiempo de concentración

Para determinar la intensidad de lluvia a través de las curvas IDF es necesario conocer el tiempo de concentración, esto por medio de un proceso iterativo, el cual empieza suponiendo una velocidad de flujo en las tuberías.

A continuación se describirá el procedimiento adecuado por seguir para obtener el tiempo de concentración:

- Suponer un valor de velocidad de flujo en las tuberías.
- Calcular el tiempo de recorrido mediante la ecuación de la SCS en la sección 4.3.2.2 de este documento.
- Calcular el tiempo de entrada por medio de cualquier método descrito en la sección 4.3.1 de este documento.
- Determinar el tiempo de concentración a través de la ecuación general descrita en la sección 4.1 de este documento.
- Obtenido el tiempo de concentración se procede a determinar la intensidad de lluvia a través de las curvas IDF y el período de retorno de diseño.
- Determinar el caudal a través de método racional descrito en la sección 3.2.1 de este documento.
- Obtenido el caudal, determinar la velocidad en el sistema de alcantarillado con la ecuación de Manning descrita en la sección 4.3.2.1 de este documento y comparar el resultado con el valor supuesto anteriormente. Si estos poseen una diferencia mayor o igual al 1 %, se procede a repetir el procedimiento utilizando de base la última velocidad de flujo en la tubería calculada.

Se debe tener en cuenta los valores mínimos y máximos recomendados en la sección 4.2 de este documento, ya que si el valor del tiempo de concentración calculado no está dentro de los rangos de aceptación se recomienda utilizar el valor mínimo o máximo, según sea el caso.

- **Ejemplo**

Se necesita conocer el tiempo de concentración para una tormenta con período de retorno de 30 años, en una zona ubicada en Monjas Jalapa, de 5 m de ancho y una longitud de 90 m entre el punto de análisis y la entrada del tragante. La superficie por drenar es un pavimento asfáltico con una pendiente longitudinal del 3 %. Al ingresar el caudal al sistema de alcantarillado de tubería de concreto, la longitud de la tubería es de 82,25 m con una pendiente del 1 %.

Solución

Para estimar el tiempo de concentración se seguirá el procedimiento descrito en la sección 4.4.

Lo primero será asumir una velocidad de flujo en el sistema de alcantarillado, en este caso se asume 1 m/s.

Ahora con la velocidad supuesta y los datos del problema, corresponde calcular el tiempo de recorrido con el método de la SCS de la sección 4.3.2.2.

$$T_r = \frac{L}{60 V}$$

$$T_r = \frac{82,25}{60 (1)}$$

$$T_r = 1,37 \text{ minutos}$$

Obtenido el tiempo de recorrido se debe estimar el tiempo de entrada, para su cálculo se utilizarán dos métodos por ser este un ejemplo didáctico; en la práctica, con el uso de un método a criterio del diseñador es suficiente.

Primero se usará el método de la FAA de la sección 4.3.1.2, para esto se necesitan los datos del problema y saber el coeficiente de escurrimiento de la tabla III, el cual está entre 0,70 y 0,95 para una calle asfáltica, por lo que se tomará un valor intermedio de 0,85.

$$T_e = \frac{0,707 \cdot 1,1 - C \cdot L^{\frac{1}{2}}}{S^{\frac{1}{3}}}$$

$$T_e = \frac{0,707 \cdot 1,1 - 0,85 \cdot (90)^{\frac{1}{2}}}{(0,03)^{\frac{1}{3}}}$$

$$T_e = 5,40 \text{ minutos}$$

El segundo método que se empleará en este ejemplo será el método de Kerby de la sección 4.3.1.3, por lo que se requerirán los datos del problema y el coeficiente de retardo de la tabla VIII, el cual es de 0,02 para superficies impermeables.

$$T_e = 1,44 \cdot \frac{L \cdot m^{0,467}}{S^{\frac{1}{2}}}$$

$$T_e = 1,44 \frac{(90) (0,02)^{0,467}}{(0,03)^{\frac{1}{2}}}$$

$$T_e = 4,30 \text{ minutos}$$

Como se puede observar existe cierta discrepancia entre métodos para estimar el tiempo de entrada, esto debido a que son métodos deducidos de forma empírica, por lo cual se requiere de mucho criterio por parte del diseñador para su uso.

Para este ejemplo se utilizará el tiempo de entrada deducido por el método de la FAA de 5,40 minutos y se procede a calcular el tiempo de concentración con la ecuación de la sección 4.1.

$$T_C = T_e + T_r$$

$$T_C = 5,40 + 1,37$$

$$T_C = 6,77 \text{ minutos}$$

Obtenido el tiempo de concentración se procede a la determinación de la intensidad de lluvia, debido a que la zona de análisis es en Monjas, Jalapa, la estación a la que corresponden los datos es a La Ceibita, de la cual se obtienen los siguientes datos de la tabla I:

$$A = 1\ 815$$

$$B = 11$$

$$n = 0,83$$

$$R2 = 0,975$$

Con estos datos obtenidos y la información del problema se tiene todo lo necesario para determinar la intensidad de lluvia.

$$i_{Tr} = \frac{A_i}{(B + t)^{n_i}}$$

$$i_{Tr} = \frac{1\ 815}{(11 + 6,77)^{0,83}}$$

$$i_{Tr} = 166,59 \text{ mm/hr}$$

Ahora se procede a determinar el caudal de escorrentía a través del método racional de la sección 3.2.1.

$$Q = \frac{CIA}{360}$$

$$Q = \frac{0,85 \ 166,59 \ (0,045)}{360}$$

$$Q = 0,01770 \frac{m^3}{s} = 17,70 \frac{Lt}{s}$$

Con estos datos solo queda corroborar la velocidad a la que se transportará el flujo en el sistema de alcantarillado a través de la ecuación de Manning de la sección 4.3.2.1 y las relaciones hidráulicas del anexo 2, proponiendo una tubería de 12 " de diámetro. De los datos del problema se sabe que la tubería será de concreto, por lo cual se utilizará un coeficiente de Manning de 0,015 obtenido de la tabla X.

Primero se obtiene la velocidad a sección llena de la tubería de 12 ”.

$$V = \frac{K}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

$$V = \frac{1}{0,015} \frac{\frac{\pi}{4} (12 * 0,0254)^2}{\pi (12 * 0,0254)} (0,01)^{\frac{1}{2}}$$

$$V = 1,20 \frac{m}{s}$$

Obtenida la velocidad, se puede determinar el caudal a sección llena de la tubería.

$$Q = V A$$

$$Q = (1,20) \frac{\pi}{4} (12 * 0,0254)^2$$

$$Q = 0,08739 \frac{m^3}{s} = 87,39 \frac{Lt}{s}$$

Ahora se determina la relación de caudales así:

$$\frac{17,70}{87,39} = 0,20254$$

Entonces, de las relaciones hidráulicas del anexo 2, si se hace una aproximación a la relación de caudales más cercana se obtiene:

$$\frac{v}{V} = 0,783188$$

$$\frac{d}{D} = 0,305$$

Con estos datos se determina la velocidad a la cual irá el flujo en la tubería, despejando de la relación de velocidades.

$$\frac{v}{V} = 0,783188$$

$$v = 1,20 (0,783188)$$

$$v = 0,94 \frac{m}{s}$$

Haciendo la comparación se observa que la velocidad supuesta de 1 m/s y la calculada varían en más del 1 %, por lo cual se realiza una iteración utilizando como base la velocidad de 0,94 m/s calculada.

$$T_r = \frac{L}{60 V}$$

$$T_r = \frac{82,25}{60 (0,94)}$$

$$T_r = 1,46 \text{ minutos}$$

El tiempo de entrada sigue siendo el mismo, ya que la velocidad del flujo en la tubería no es un factor que lo altere, entonces, su valor sigue siendo 5,40 minutos.

$$T_C = T_e + T_r$$

$$T_C = 5,40 + 1,46$$

$$T_C = 6,86 \text{ minutos}$$

Con el nuevo tiempo de concentración se procede a determinar la intensidad de lluvia.

$$i_{Tr} = \frac{A_i}{(B + t)^{n_i}}$$

$$i_{Tr} = \frac{1\,815}{(11 + 6,86)^{0,83}}$$

$$i_{Tr} = 165,89 \text{ mm/hr}$$

Ahora se determina el caudal de escorrentía superficial.

$$Q = \frac{CIA}{360}$$

$$Q = \frac{0,85 \quad 165,89 \quad (0,045)}{360}$$

$$Q = 0,01763 \frac{m^3}{s} = 17,63 \frac{Lt}{s}$$

Las características de velocidad y caudal a sección llena de la tubería no cambian, entonces, se determina la relación de caudales así:

$$\frac{17,63}{87,39} = 0,201739$$

De las relaciones hidráulicas del anexo 2, haciendo una aproximación a la relación de caudales más cercana, se obtiene:

$$\frac{v}{V} = 0,783188$$

$$\frac{d}{D} = 0,305$$

La velocidad a la cual irá el flujo en la tubería se despejará de la relación de velocidades así:

$$\frac{v}{V} = 0,783188$$

$$v = 1,20 \quad (0,783188)$$

$$v = 0,94 \frac{m}{s}$$

Con esto se observa que la velocidad vuelve a ser la misma, aspecto que indica que ya no se debe realizar otra iteración. Los resultados finales del problema son:

$$T_r = 1,46 \text{ minutos}$$

$$T_e = 5,40 \text{ minutos}$$

$$**T_c = 6,86 minutos**$$

Al observar que el tiempo de concentración real es menor que el mínimo recomendado en la sección 4.2, se procede a utilizar el mínimo recomendado de 10 minutos para cálculos posteriores.

5. ANÁLISIS Y DISEÑO HIDRÁULICO DE ELEMENTOS DE UN TRAGANTE PARA ALCANTARILLADO PLUVIAL

El análisis y diseño hidráulico de un tragante implica justificar la ubicación, el número y tipo de tragante por utilizar según las características de la zona por drenar, de forma que se garantice un desfogue de caudal de lluvia en cuenca urbana eficiente y que sustituya artificial y correctamente los procesos de drenaje de una cuenca que no haya sido alterada por procesos antropogénicos (cuenca rural).

5.1. Diseño hidráulico de tragantes

El diseño hidráulico de tragantes debe tener en consideración que la capacidad de captación (sección 3.3 de este documento) debe ser congruente con el diseño hidráulico de la red de alcantarillado en la cual estará conectado, de forma que el caudal producido por una tormenta de lluvia no se convierta en una inundación en las calles y afecte la movilización de vehículos y peatones.

5.1.1. Caudal máximo en cuneta

Para el análisis y diseño hidráulico de un tragante se debe determinar la capacidad máxima de la cuneta que transportará el caudal producido por una tormenta de lluvia antes de ingresar al tragante; esta capacidad está directamente relacionada con la pendiente longitudinal de la superficie por drenar, del ancho de inundación permitido (0,75m según reglamento de EMPAGUA) y del tirante máximo permitido al borde de la acera (0,03m según reglamento de EMPAGUA).

Las condiciones límite que presenta EMPAGUA son un tanto radicales para la realidad y condiciones actuales de Guatemala. Diversos autores sugieren que el tirante de escorrentía no supere la altura del bordillo de acera (evitar la inundación de aceras) y el ancho de inundación sea como máximo de 3,00 m.

La cuneta se puede considerar como un canal abierto de sección triangular que se forma por el garabito de las calles y por sus características se puede acudir a la ecuación de Manning para su análisis. Al diseñar la cuneta se hace la suposición de un transporte de flujo constante y uniforme, comportamiento que en la práctica no ocurre; el caudal de una cuneta varía aumentándose a medida que aumenta la intensidad de la tormenta y cuando la pendiente longitudinal es muy pequeña (menor que el 1%). Hacer la suposición de un flujo constante y uniforme conlleva sobrestimar el caudal que transportará la cuneta.

La ecuación de Manning, descrita en la sección 4.3.2.1 de este documento, adecuada a las características de una sección transversal triangular, se expresa de la siguiente manera:

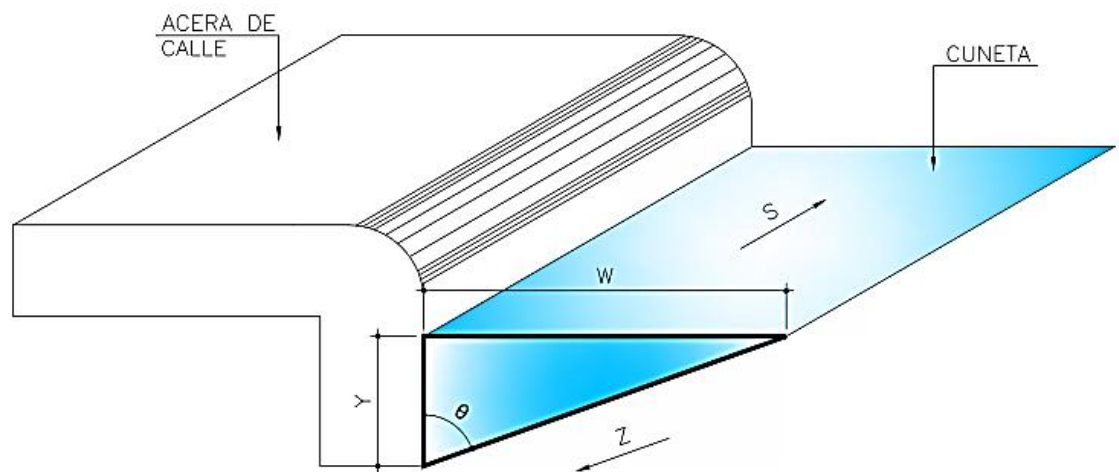
$$Q = 0,375 \frac{Z}{n} Y^{\frac{8}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

En donde:

- Q es el caudal en la cuneta obtenido del método racional, expresado en m³/s.
- Z es el inverso de la pendiente transversal de la cuneta expresado 1/(m/m).

- n es el coeficiente de rugosidad de la tabla VI.
- Y es el tirante máximo permitido al borde de la acera expresado en m.
- S es la pendiente del canal abierto expresado en m/m.

Figura 22. **Esquema de canal abierto de sección triangular formado en cuneta**



Fuente: elaboración propia con programa AutoCad 2014.

A través del esquema de la figura 22 se puede realizar un análisis de trigonometría para determinar el ancho de inundación W producido por determinado caudal de escorrentía. El análisis sería el siguiente:

$$W = Y \tan \theta$$

En donde:

- W es el ancho de inundación de la calle expresado en m.
- Y es el tirante al borde de la acera expresado en m.
- θ es el ángulo formado por la pendiente transversal de la calle y la vertical del bordillo de acera, expresado en grados sexagesimales.
- Ejemplo

En una zona en la cual se planifica el desarrollo de un proyecto de alcantarillado, se ha obtenido a través de un estudio hidrológico que el caudal de escorrentía que producirá la tormenta de diseño es de $0,56 \text{ m}^3/\text{s}$. El diseñador necesita determinar cuáles serán las condiciones en las que se comportará dicho caudal en la cuneta previo al desfogue en un tragante. La calle de análisis es un pavimento asfáltico con una pendiente longitudinal de 4,00 % y un bombeo de 3,00 %.

Solución

El comportamiento que tendrá un caudal de escorrentía producido por una tormenta es muy importante, ya que esto asegurará el tránsito adecuado de peatones y vehículos por las calles.

Lo primero que se hace es determinar cuál será el tirante de inundación en la cuneta, para esto se necesitan las características físicas de la calle. Debido a que la calle posee un bombeo transversal, significa que el caudal total de

esorrentía se dividirá en dos, yendo en partes iguales a la cuneta de cada lado de la calle.

$$Q = 0,375 \frac{Z}{n} Y^{\frac{8}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

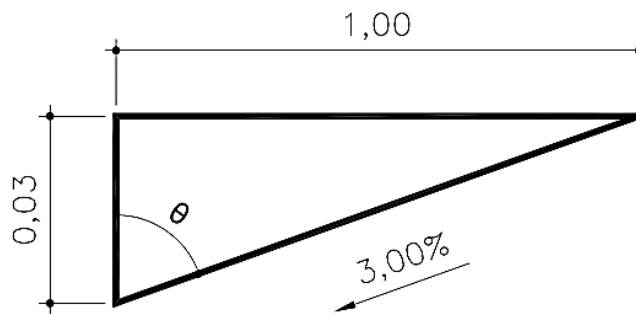
$$\frac{0,56}{2} = 0,375 \frac{1}{\frac{0,030}{0,011}} Y^{\frac{8}{3}} (0,040)^{\frac{1}{2}}$$

$$Y = 0,081 \text{ m}$$

Con el tirante de inundación de 8,10 cm con trigonometría se puede obtener el ancho de inundación, para lo cual se necesita obtener el ángulo entre la pendiente transversal de la calle y la vertical del bordillo de acera.

Se asume un ancho de inundación de 1,00 m para determinar θ , ya que conociendo el porcentaje de la pendiente transversal se sabe que por cada metro, la altura del triángulo que se forma aumentará 0,03 m.

Figura 23. **Esquema de canal abierto de sección triangular formado en cuneta**



Fuente: elaboración propia con programa AutoCad 2014.

$$\tan \theta = \frac{1}{0,03}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{1}{0,03}$$

$$\theta = 88,28^\circ$$

Si se conoce el valor del ángulo se procede a calcular el ancho de inundación real.

$$W = Y \tan \theta$$

$$W = (0,081) \tan(88,28)$$

$$W = 2,70 \text{ m}$$

5.1.2. Diseño de entrada de tragante

El diseño de la entrada de un tragante depende de las condiciones de la superficie por drenar, ya que con base a ellas se elegirá el tipo de entrada (ver sección 3.4 de este documento).

5.1.2.1. Tragante de ventana o acera

Un tragante de ventana intercepta un caudal, el cual se puede determinar de la siguiente forma:

$$\frac{Q}{L_v} = \frac{0,39}{Y} \quad Y + d_e^{\frac{5}{2}} - d_e^{5/2}$$

En donde:

- Q es el caudal en la cuneta expresado en m^3/s .
- L_v es la longitud de la venta expresada en m.
- Y es el tirante máximo permitido al borde de la acera expresado en m.
- d_e es la depresión de la entrada expresada en m.

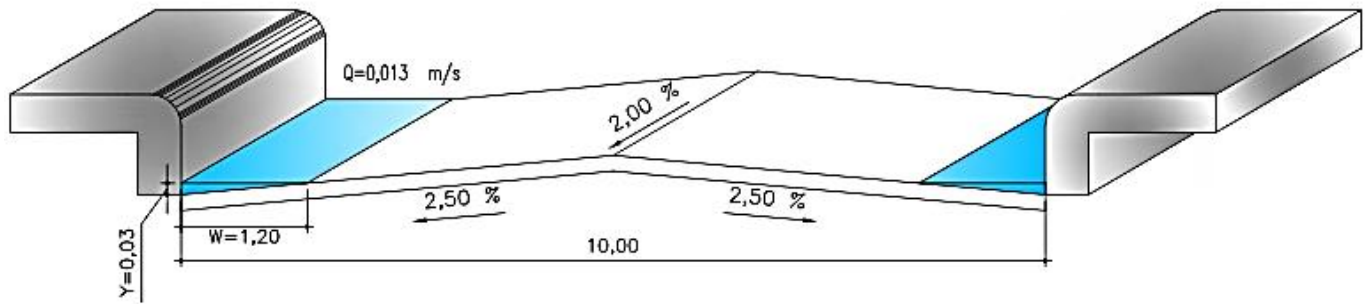
Al diseñar la longitud de la ventana se puede optar porque el caudal que transporta la cuneta sea captado parcialmente, para que el resto se haga por otro tragante posterior. La idea de utilizar este criterio de diseño es reducir la longitud de la ventana para no comprometer la seguridad o la estética, como se anotó en los criterios de diseño (sección 3.1 de este documento).

- Ejemplo

Se desea conocer si un tragante tendrá la capacidad para captar un caudal de escorrentía de $0,013 m^3/s$ transportado en una cuneta y producido por una tormenta. La calle de 10 m de ancho y 85 m de longitud por drenar, será un pavimento de concreto con un bombeo de 2,50 % y una pendiente longitudinal de 2,00 %.

Del análisis se determinó que el tirante de inundación es de 0,03 m y el ancho de inundación de 1,20 m.

Figura 24. **Esquema de sección transversal de ejemplo**



Fuente: elaboración propia con programa AutoCad 2014.

Solución

Por las condiciones de la urbanización y con base en la sección 3.4 y la tabla IV el tragante adecuado por utilizar es de ventana o acera, en este caso se utilizará una depresión de 0,02 m.

Suponiendo que se intercepta todo el caudal producido por la tormenta que es transportando en la cuneta, la longitud de la ventana se determina de la siguiente forma:

$$\frac{Q}{L_v} = \frac{0,39}{Y} \quad Y + d_e^{\frac{5}{2}} - d_e^{5/2}$$

$$\frac{0,013}{L_v} = \frac{0,39}{0,03} \quad 0,03 + 0,02^{\frac{5}{2}} - (0,02)^{5/2}$$

$$L_v = 1,99 \text{ m}$$

Una ventana de 1,99 m para la entrada de un tragante es demasiado grande y podría comprometer la seguridad y la estética, por lo cual se adoptará dos entradas de 1,00 m reduciendo el área de influencia, entonces como la capacidad de captación de un tragante de ventana es directamente proporcional a la longitud de la ventana se puede determinar la eficiencia así:

$$\frac{1,00}{1,99} * 100 = 50,25 \%$$

Conociendo la eficiencia de la entrada del tragante se determina cuál será el caudal captado por una entrada de 1,00 m.

$$E = \frac{Q_i}{Q} * 100$$

$$50,25 = \frac{Q_i}{0,013} * 100$$

$$Q_i = 0,0065 \frac{m^3}{s}$$

Por lo tanto, el flujo de arrastre sería:

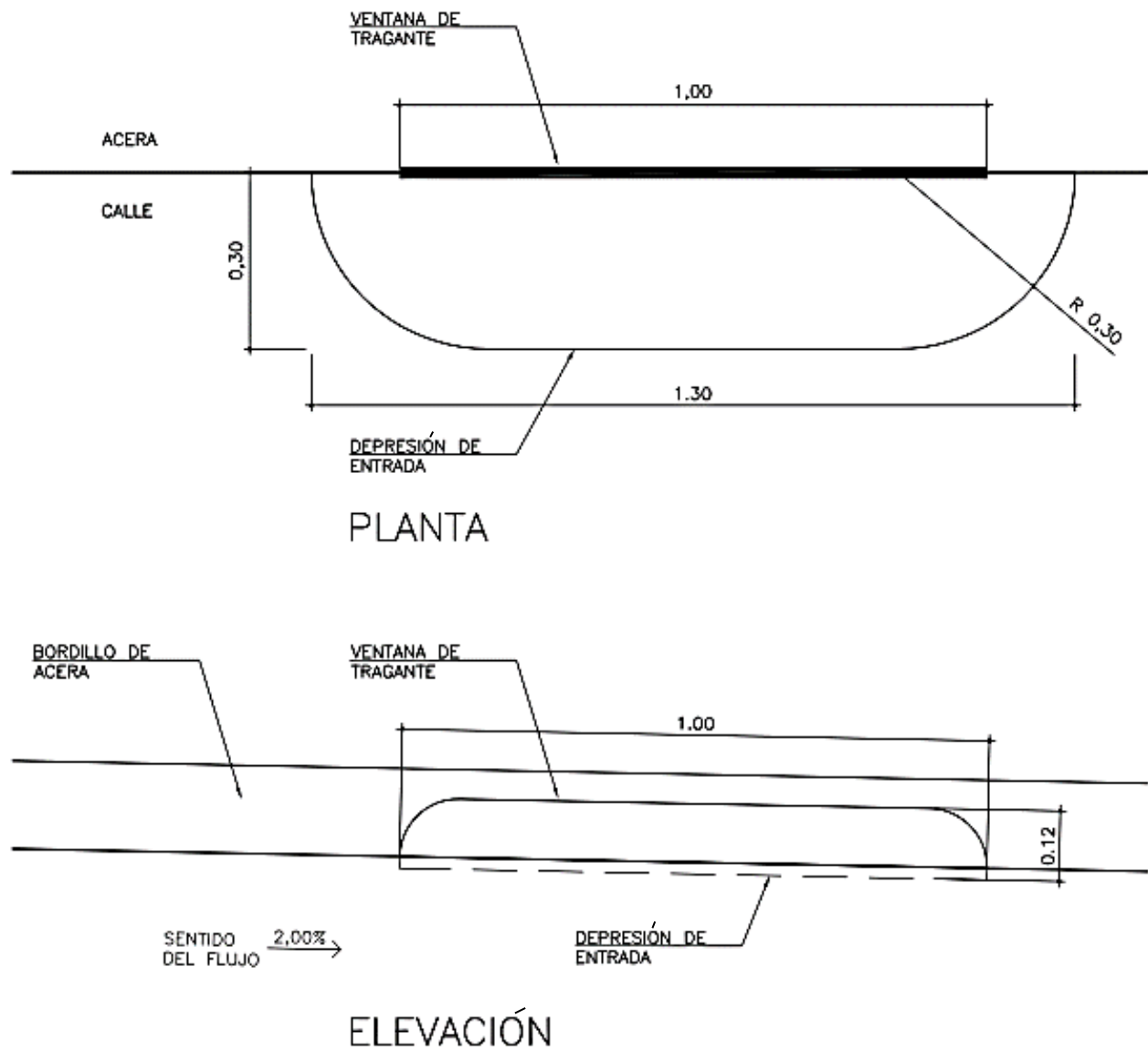
$$Q_a = Q - Q_i$$

$$Q_a = 0,013 - 0,0065$$

$$Q_a = 0,0065 \frac{m^3}{s}$$

El diseño final sería de dos entradas de ventana de 1,00 m con una eficiencia del 50,25 % para captar eficientemente el caudal de 0,013 m³/s, sin comprometer la seguridad y la estética de la urbanización.

Figura 25. **Esquema de diseño final de tragante de ventana**



Fuente: elaboración propia con programa AutoCad 2014.

5.1.2.2. Tragante de rejilla en cuneta

El diseño de una entrada con rejilla involucra la determinación del área efectiva de captación, ya que a diferencia de una entrada de ventana, el área que ocupa la rejilla interfiere en la libre captación del flujo superficial.

La capacidad de captación de una entrada con rejilla se puede determinar de la siguiente manera:

$$Q = 2,96 A_0 Y + d_e \frac{1}{2}$$

En donde:

- Q es el caudal en la cuneta expresado en m^3/s
- A_0 es el área efectiva de captación de la rejilla en m^2
- Y es el tirante máximo permitido al borde de la acera expresado en m
- d_e es la depresión de la cuneta expresada en m

Debido a que una rejilla puede ser obstruida por basura se puede utilizar un factor de seguridad alrededor de 0,75 para el caudal definido por la expresión anterior, esto queda a criterio del diseñador considerando las características de la zona por drenar.

La longitud de la rejilla en sentido del flujo también es importante para el diseño de la entrada, esto con el propósito de que el flujo alcance a pasar por la

rejilla y no se produzca el efecto fuente descrito en la sección 3.3 de este documento. Para la determinación de la longitud necesaria para una rejilla se puede utilizar la siguiente expresión empírica:

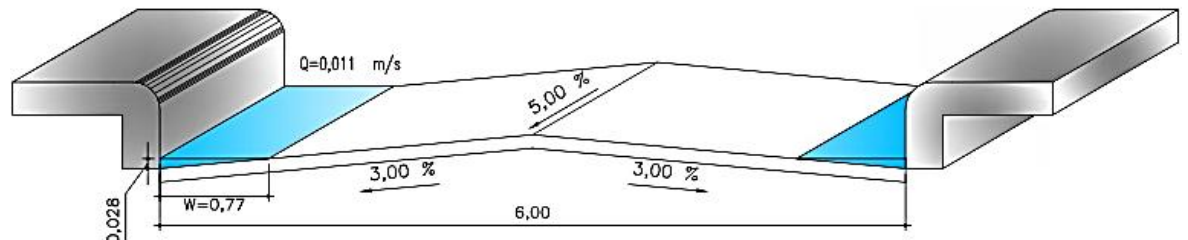
$$L_F = 0,94 V H^{\frac{1}{2}}$$

En donde:

- L_F es la longitud necesaria de rejilla en sentido del flujo, expresada en m.
- V es la velocidad media de la escorrentía en cuneta expresada en m/s.
- H es el tirante máximo permitido al borde de la acera más el espesor de la rejilla expresado en m.
- Ejemplo

Se debe diseñar una entrada de tragante con la capacidad para captar un caudal de escorrentía de 0,011 m³/s producido por una tormenta, en una zona donde la calle por drenar será un pavimento asfáltico de longitud de 80 m y 6 m de ancho, con una pendiente transversal de 3,00 % y una pendiente longitudinal de 5,00 %. Del análisis se determinó que el tirante de inundación es de 0,028 m y el ancho de inundación es de 0,77 m.

Figura 26. **Esquema de sección transversal de ejemplo**



Fuente: elaboración propia con programa AutoCad 2014.

Solución

Con base a los criterios de selección de entrada de la sección 3.4 y la tabla IV, el tragante adecuado por utilizar es de rejilla en cuneta, en este caso sin depresión.

Lo primero que se debe hacer es determinar el área efectiva que se necesita de la rejilla.

$$Q = 2,96 A_0 Y + d_e^{\frac{1}{2}}$$

$$0,011 = 2,96 A_0 0,028 + 0^{\frac{1}{2}}$$

$$A_0 = 0,022 \text{ m}^2$$

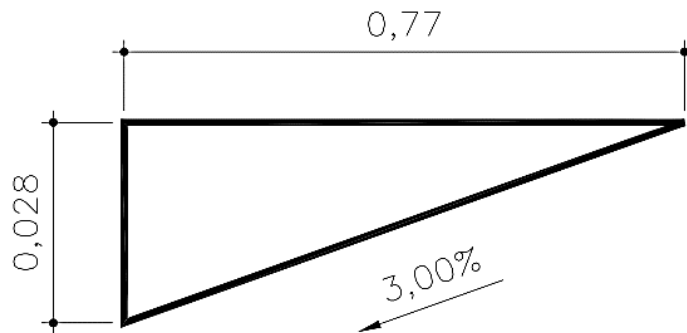
Ahora, previendo que la rejilla pueda ser obstruida por basura arrastrada por la escorrentía, como se mencionó anteriormente se puede utilizar un factor de seguridad de 0,75.

$$A_0 = 0,022 \, m^2 * \frac{1}{0,75}$$

$$A_0 = 0,029 \, m^2$$

Con el área efectiva que se necesita para interceptar el flujo se procede a determinar la longitud de la rejilla en sentido del flujo, para esto, se tiene que conocer la velocidad del flujo. El análisis se basará en el canal abierto de sección triangular formado en la cuneta.

Figura 27. **Esquema de sección triangular formado en cuneta**



Fuente: elaboración propia con programa AutoCad 2014.

$$Q = V A$$

$$0,011 = V \frac{1}{2} * 0,77 * 0,028$$

$$V = 1,02 \frac{m}{s}$$

Si se conoce la velocidad del flujo se puede determinar la longitud de la rejilla en sentido del flujo, proponiendo una rejilla de espesor de 0,017 m.

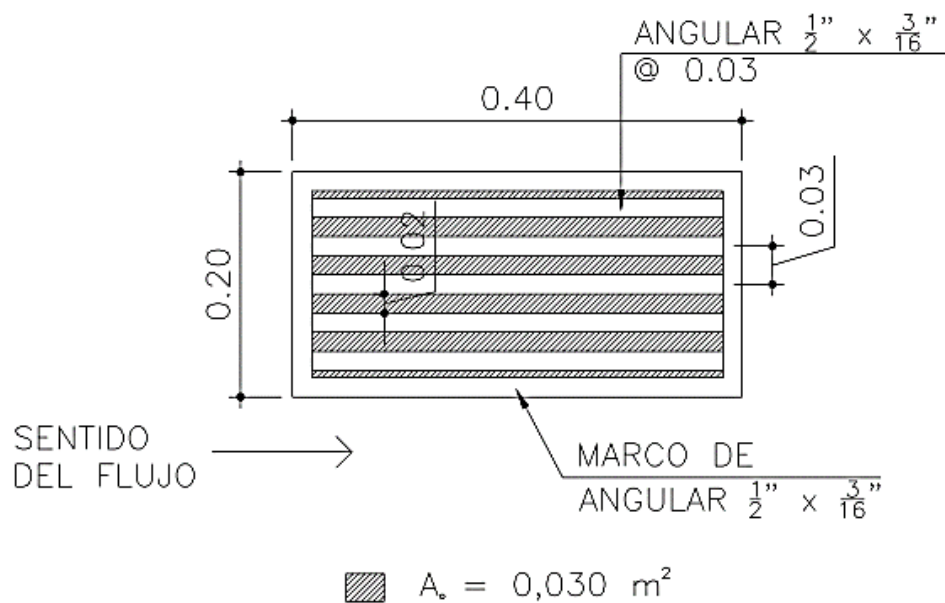
$$L_F = 0,94 V H^{\frac{1}{2}}$$

$$L_F = 0,94 (1,02) (0,028 + 0,017)^{\frac{1}{2}}$$

$$L_F = 0,20 \text{ m}$$

Con estos datos se diseña la rejilla, por ejemplo, fabricándola con angular, una práctica muy común en Guatemala.

Figura 28. Esquema de diseño de rejilla en cuneta



Fuente: elaboración propia con programa AutoCad 2014.

5.1.2.2.1. Diseño de rejilla en puntos bajos

En los puntos bajos o áreas que tiendan a inundarse (como los pasos a desnivel), la velocidad de la escorrentía tiende a cero por lo cual el agua se estanca.

Figura 29. **Paso a desnivel del bulevar Liberación y 6 avenida zona 9 inundado**



Fuente: Transdoc. <http://transdoc.com/articulos/noticias-mundo/Noticias-Internacionales-Septiembre-11-Jueves/35329>. Consulta: septiembre de 2016.

Al momento de estancarse el agua en un punto bajo existen dos posibilidades para el comportamiento del flujo, la primera circunstancia se produce cuando la profundidad de la escorrentía es menor de 0,12 m (por lo general menor que la altura del bordillo de acera). En este caso, la entrada del tragante se comporta como un vertedero rectangular y el perímetro de la misma se convierte en la longitud de cresta del vertedero. La expresión que representa el comportamiento de la entrada con un coeficiente de descarga de 1,65 es la siguiente:

$$Q = 1,65 (L_R + 2b) Y^{\frac{3}{2}}$$

En donde:

- Q es el caudal interceptado por la rejilla expresado en m³/s.
- L_R es el largo de la rejilla expresado en m.
- b es el ancho de la rejilla expresado en m.
- Y es la profundidad de la escorrentía (menor que 0,12) sobre la entrada, expresada en m.

La segunda circunstancia se presenta cuando la altura del tirante de agua estancada supera los 0,40 m; en esta situación la entrada del tragante se comporta como un agujero en el pavimento el cual tiene una capacidad representada por la siguiente expresión:

$$Q = 0,60 A_0 \sqrt{2 g Y}$$

En donde:

- Q es el caudal interceptado por la entrada expresado en m³/s.
- A₀ es el área efectiva de captación de la rejilla en m².
- g es la gravedad igual a 9,81 m/s².

- Y es la profundidad de la escorrentía (mayor que 0,40) sobre la entrada, expresada en m.

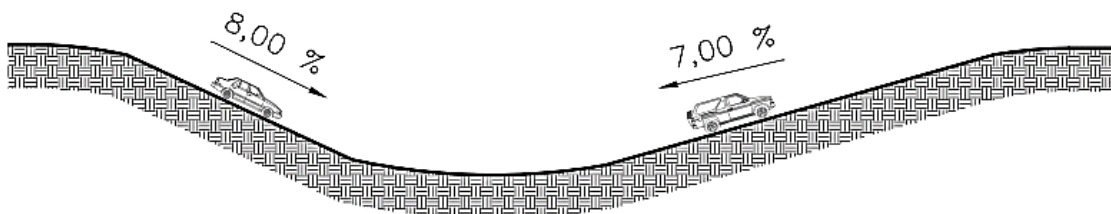
Cuando la profundidad del agua se encuentra entre el rango de 0,12 m a 0,40 m se procede a determinar el caudal captado con las dos expresiones planteadas anteriormente y se utiliza el valor crítico, es decir, el valor menor de caudal captado por la entrada.

- **Ejemplo**

En una calle que es una curva vertical cóncava, con una tangente de entrada de 50 m de largo, con pendiente longitudinal del 8 % y una tangente de salida de 52 m de largo, pendiente longitudinal del 7 %, ambas con un bombeo transversal de 3 %, se ha determinado que el caudal en la cuneta de la tangente de entrada es $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$ y el caudal de la cuneta de la tangente de salida es de $0,018 \text{ m}^3/\text{s}$. Por limitaciones del diseño urbano no es factible la implementación de un tragante de ventana.

El análisis hidráulico determinó que el tirante de escorrentía en la tangente de entrada es de 0,026 m con un ancho de inundación de 0,88 m y el tirante de escorrentía en la tangente de salida es de 0,026 con un ancho de inundación de 0,87 m.

Figura 30. Esquema de curva vertical de ejemplo



Fuente: elaboración propia con programa AutoCad 2014.

Solución

En puntos bajos donde hay gran probabilidad de inundaciones lo ideal es colocar un tragante de ventana, sin embargo, como el problema indica que no es factible su implementación, se utilizará un tragante de rejilla en cuneta.

Lo primero que se debe determinar es el tirante de escorrentía real que estará afectado el punto de ubicación de la entrada del tragante, el cual resulta de la suma del tirante que aporta la tangente de entrada y salida.

$$Y = Y_e + Y_s$$

$$Y = 0,026 + 0,026$$

$$Y = 0,052 \text{ m}$$

Observar que el tirante de escorrentía sobre la entrada es menor que 12 cm, indica que la entrada se comportará como un vertedero, en donde el caudal será la suma de los aportes de las tangentes, para esto se asumirá un ancho de 0,4 m para la rejilla

$$Q = 1,65 (L_R + 2b) Y^{\frac{3}{2}}$$

$$0,02 + 0,018 = 1,65 L_R + 2 (0,40) (0,052)^{\frac{3}{2}}$$

$$L_R = 1,14 \text{ m}$$

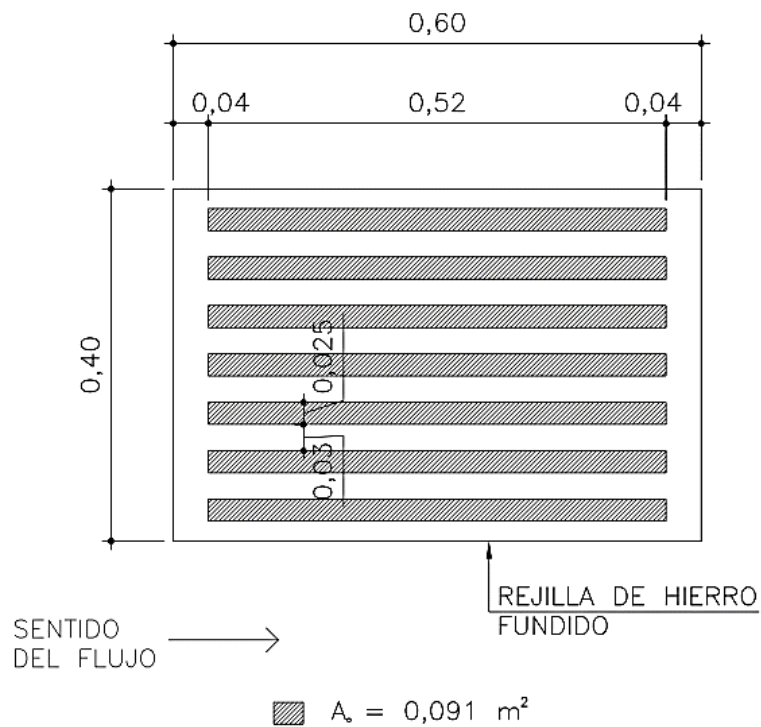
Al observar que el perímetro es muy grande, se implementarán dos rejillas que cumplan con los criterios de diseño.

$$L_R = \frac{1,14 \text{ m}}{2}$$

$$L_R = 0,57 \text{ m}$$

El diseño final serían dos rejillas de 0,60 m x 0,40 m para captar eficientemente el caudal estancando en el punto bajo de análisis.

Figura 31. **Propuesta final de rejilla**



Fuente: elaboración propia con programa AutoCad 2014.

5.1.2.3. Tragante mixto

Como bien se ha anotado anteriormente, un tragante mixto es una combinación de características de un tragante de ventana y un tragante de rejilla en cuneta, esto significa que el proceso para el diseño hidráulico consiste en realizar un análisis por separado de las dos entradas y luego unir la capacidad de captación de ambas.

Entonces, un tragante mixto se analiza con la expresión de la sección 5.1.2.1 y 5.1.2.2 obteniendo dos capacidades de captación, las cuales al ser unificadas resultan en la capacidad de captación del tragante mixto. Cabe destacar que el propósito de un tragante mixto es reducir el largo de la entrada de ventana y disminuir el ancho de la rejilla en cuneta, por lo cual se debe considerar para su diseño.

5.1.2.4. Tragante transversal o de calzada

El análisis para un tragante transversal es muy similar al de un tragante de rejilla en cuneta, con la diferencia que, en este caso, la longitud de la entrada está definida por la sección transversal del pavimento.

Para el diseño hidráulico de un tragante transversal se pueden aplicar las expresiones planteadas en la sección 5.1.2.1 de este documento.

5.1.1. Diseño de caja recolectora

La caja de un tragante tiene como función principal permitir que el agua superficial captada por la entrada sea introducida a la red de alcantarillado pluvial.

Como una función secundaria, las cajas también sirven como puntos de acceso para la limpieza e inspección.

Figura 32. **Esquema de caja recolectora**



Fuente: Cype Ingenieros S.A.

http://www.generadordeprecios.info/obra_nueva/Urbanizacion_interior_de_la_parcela/Alcantarillado/Sumideros_e_imbornales_urbanos/Imbornal_1_0_0.html. Consulta: septiembre de 2016.

Figura 33. **Inspección y limpieza de caja de tragantes**



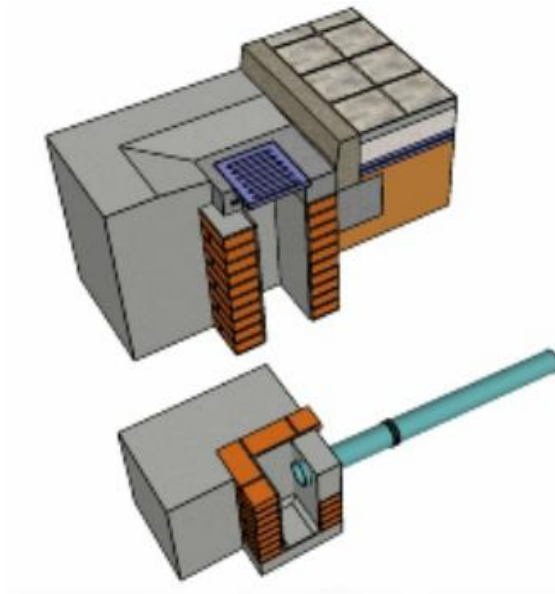
Fuente: Municipalidad de Guatemala. <http://portal.muniguate.com/index.php/ac/9500-tragantes>.

Consulta: septiembre de 2016.

El diseño hidráulico de la caja de recolección consistirá en dimensionarla de forma que haga cumplir con los parámetros establecidos del sistema de alcantarillado, es decir, el ancho y largo dependerán de las dimensiones de la entrada y la altura dependerá de la profundidad a la cual se encuentran las tuberías del sistema de alcantarillado, de forma que permita un pendiente mínima del 2 % para la tubería de conexión a la red de alcantarillado.

Otro aspecto importante es verificar si el volumen de la caja es capaz de recolectar temporalmente el de caudal captado por la entrada del tragante para su correcto traslado a la red de alcantarillado. En el anexo 3 de este documento se puede analizar algunos detalles típicos de cajas de tragantes.

Figura 34. **Esquema de caja de tragante y conexión a red de alcantarillado**



Fuente: Prezi. <https://prezi.com/kmg1dx38kkhk/caja-tragante/>. Consulta: septiembre de 2016.

5.2. Procedimiento general de diseño hidráulico de tragantes para alcantarillado pluvial

A continuación se presentará una guía general del procedimiento por seguir para el diseño de tragantes:

- De acuerdo con los criterios de ubicación de la sección 3.1, necesidades de la urbanización y la información topográfica, se define la ubicación de tragantes. Tomando en cuenta la dirección del flujo y posibles caudales de arrastre que puedan generarse en una calle, observando posible influencia en el caudal que deberá interceptar cada entrada de tragante.
- Definir pendientes longitudinales y transversales, así como características físicas y geométricas de las calles en la cuenca urbana.
- Definir áreas de influencia de cada entrada ubicada.
- Estimar el tiempo de concentración con base en la sección 4.4 y proceder a determinar la intensidad de lluvia a través de las curvas IDF y el período de retorno de diseño (sección 1.2.3.1), para el área de influencia seleccionada.
- Determinar el caudal de escorrentía generado por la tormenta de diseño a través de método racional descrito en la sección 3.2.1 de este documento, para el área de influencia seleccionada.
- Obtener el caudal que deberá captar la entrada del tragante en el área de influencia seleccionada; será el resultado de la suma del caudal de

escorrentía y el caudal de arrastre (si es el caso que existiera), lo que se obtenga será el caudal que transportará la cuneta.

- Determinar las características en las cuales se comportará el caudal en la cuneta con base en la sección 5.1.1 de este documento.
- Definir el tipo de tragante por utilizar con base en la sección 3.4.
- Diseñar el tragante según sea el tipo seleccionado con base en la sección 5.1 de este documento.

CONCLUSIONES

1. Las consideraciones por tomar en cuenta para un correcto diseño hidráulico de tragantes involucra un amplio conocimiento de distintas ramas de la Ingeniería, así como un adecuado criterio por parte del diseñador para caracterizar correctamente el diseño a las situaciones reales a las que estará sometido.
2. La estructura de un tragante dentro de un sistema de alcantarillado es de suma importancia para el adecuado desfogue de agua de lluvia en una cuenca urbana, es un factor relevante para evitar las inundaciones en calles de una ciudad.
3. Se desarrolló el análisis y diseño hidráulico de las partes de un tragante, determinando que es paralelo al diseño de colectores de una red de alcantarillado. De ambos depende caracterizar artificialmente el comportamiento original de la cuenca y lograr el eficiente desfogue de caudales producidos por una tormenta de lluvia.
4. Un tragante es una pieza fundamental en un sistema de alcantarillado pluvial, su inadecuado funcionamiento podría provocar un colapso o ineficiente funcionamiento en la red de alcantarillados.
5. La selección del tipo de tragante por utilizar será un factor importante para lograr su objetivo, poseer un libre tránsito de peatones y vehículos en las calles de una ciudad encajando en los criterios de seguridad y estética de la urbanización.

RECOMENDACIONES

1. Enfocar el diseño de estructuras hidráulicas para que cumpla objetivos de economía, funcionalidad, estética y seguridad para los usuarios.
2. Diseñar y caracterizar las estructuras destinadas al desfogue de agua de lluvia para que su funcionamiento sea el adecuado. Asimismo, se debe controlar la acumulación de basura en las entradas de los tragantes para garantizar su eficiencia.
3. Realizar inspecciones y mantenimiento a las estructuras de tragantes para garantizar que estén en condiciones adecuadas para un correcto funcionamiento.
4. Inspeccionar y dar mantenimiento a los tragantes antes y después de la época de lluvia para garantizar la integridad de las estructuras.
5. Promover una normativa para Guatemala que garantice un correcto diseño hidráulico de estructuras sanitarias, enfocado en la eficiencia de sistemas de alcantarillados y que esté acorde con el desarrollo urbanístico de las ciudades.

BIBLIOGRAFÍA

1. BOLINAGA I., Juan J.; FRANCESCHI A., Luis E. *Drenaje urbano*. Venezuela: Instituto Nacional de Obras Sanitarias, 1979. 434 p.
2. Empresa Municipal de Agua. *Reglamento para diseño y construcción de drenajes*. Guatemala: EMPAGUA, 1964. 31 p.
3. Empresas Públicas de Medellín. *Normas de diseño de sistemas de alcantarillado de EPM*. Colombia: EPM, 2009. 239 p.
4. Georgia Storm Water Management. *Technical Handbook*. First Edition, USA, 2001. 844 p.
5. GÓMEZ VALENTÍN, Manuel. *Hidrología urbana*. España: Universidad Politécnica de Cataluña, Instituto Flumen, 2007. 331 p.
6. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. *Informe de intensidades de precipitación en Guatemala*. Guatemala: INSIVUMEH, 2003. 12 p.
7. LÓPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo. *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*. 2da ed. Colombia: Escuela colombiana de Ingeniería, 2004. 547 p.
8. U.S. Department of Transportation. *Hidraulic Engineering Circular No. 22, Urban drainage design manual*. Third edition. USA: Federal Highway Administration, 2009. 478 p.

ANEXOS

Anexo 1. **Características de las estaciones meteorológicas usadas en la construcción de curvas IDF, según el método estándar de cálculo recomendado por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH). A = años de registro y T = No. de tormentas**

No.	Codigo	Nombre	Cuenca
1	01.01.08	Cobán	Cahabón
2	02.06.04	San Jerónimo	Salinas
3	03.01.01	Alameda Icta	Motagua
4	04.04.02	Esquipulas	Olopa
5	05.01.14	Sábana Grande	Achiguate
6	05.08.01	Puerto San José	María Linda
7	05.10.08	Camantulul	Coyolate
8	06.01.00	Insivumeh	María Linda
9	07.01.03	Huehuetenango	Selegua
10	08.01.04	Puerto Barrios	Motagua
11	09.01.02	Potrero Carrillo	Motagua
12	09.03.03	La Ceibita PHC	Ostúa-Güija
13	10.03.01	Asunción Mita	Ostúa-Güija
14	10.11.02	Montúfar	Paz
15	11.01.05	Flores	San Pedro
16	11.11.02	El porvenir	Pasión
17	12.03.01	Morazán	Motagua
18	13.14.03	Labor Ovalle	Samalá
19	15.01.01	Retalhuleu	Ocosito
20	18.01.04	Los Esclavos	Los Esclavos
21	19.19.04	Santiago Atitlán	Atitlán
22	22.03.02	La fragua	Grande de Zacapa
23	22.06.02	La Unión	Motagua

Continuación de anexo 1.

No.	Departamento	Municipio	Elev.	Latitud	Longitud	Registro	A	T
1	Alta Verapaz	Cobán	1329	152803	902423	1989-2002	9	67
2	Baja Verapaz	S. Jerónimo	1020	150340	901405	1989-2001	8	40
3	Chimaltenango	Chimaltenango	1793	143936	904910	1995-2002	8	61
4	Chiquimula	Esquipulas	1000	143332	892031	1990-2001	10	63
5	Escuintla	Escuintla	740	142203	904802	1990-2002	8	72
6	Escuintla	San José	2	135504	904910	1973-2002	10	39
7	Escuintla	Sta. Lucía Cotz.	280	141928	910327	1973-2002	11	65
8	Guatemala	Guatemala	1502	143511	903158	1940-2002	44	98
9	Huehuetenango	Huehuetenango	1902	151928	912805	1986-2002	13	58
10	Izabal	Puerto Barrios	15	154416	883530	1994-2002	8	68
11	Jalapa	Jalapa	1800	144550	895600	1990-2002	13	75
12	Jalapa	Monjas	961	142907	895310	1990-2001	12	77
13	Jutiapa	Asunción Mita	478	142000	894200	1990-2001	12	67
14	Jutiapa	Moyuta	10	134819	900811	1989-2002	11	86
15	Petén	Flores	115	165544	895329	1999-2002	4	45
16	Petén	Sayaxché	125	163129	902822	1981-1989	8	98
17	Progreso	Morazán	360	145574	900907	1990-2001	12	67
18	Quezaltenango	Olintepeque	2400	145212	913109	1955-2002	35	98
19	Retalhuleu	Retalhuleu	239	143207	914040	1984-2002	15	84
20	Santa Rosa	Cuilapa	737	141510	901642	1990-2002	13	90
21	Sololá	Santiago Atitlán	1592	143756	911353	1993-2002	9	64
22	Zacapa	Estanzuela	210	145751	893504	1990-2002	10	62
23	Zacapa	La Unión	1100	145800	891739	1991-2001	11	94

Fuente: INSIVUMEH. *Informe intensidades de lluvia*. p. 4.

Anexo 2. Elementos hidráulicos de una alcantarilla de sección transversal circular

q/Q	v/V	d/D
0,0000010	0,0192240	0,0010000
0,0000050	0,0305070	0,0020000
0,0000110	0,0399630	0,0030000
0,0000210	0,0483960	0,0040000
0,0000340	0,0561410	0,0050000
0,0000500	0,0633700	0,0060000
0,0000700	0,0702150	0,0070000
0,0000930	0,0767280	0,0080000
0,0012000	0,0829700	0,0090000
0,0001510	0,0889800	0,0100000
0,0001850	0,0947870	0,0110000
0,0002230	0,1004170	0,0120000
0,0002650	0,1058870	0,0130000
0,0003110	0,1112150	0,0140000
0,0003610	0,1164130	0,0150000
0,0004150	0,1214930	0,0160000
0,0004730	0,1264640	0,0170000
0,0005360	0,1313350	0,0180000
0,0006020	0,1361120	0,0190000
0,0006720	0,1408030	0,0200000
0,0007460	0,1454120	0,0210000
0,0008250	0,1499450	0,0220000
0,0009080	0,1544060	0,0230000
0,0009950	0,1588000	0,0240000
0,0010860	0,1631290	0,0250000
0,0011820	0,1673980	0,0260000
0,0012820	0,1716090	0,0270000
0,0013860	0,1757650	0,0280000
0,0014950	0,1798680	0,0290000
0,0016080	0,1839210	0,0300000
0,0017250	0,1879260	0,0310000

q/Q	v/V	d/D
0,0018470	0,1918850	0,0320000
0,0019730	0,1958000	0,0330000
0,0021030	0,1996720	0,0340000
0,0022380	0,2035030	0,0350000
0,0023780	0,2072950	0,0360000
0,0025210	0,2110490	0,0370000
0,0026700	0,2147660	0,0380000
0,0028230	0,2184480	0,0390000
0,0029800	0,2220950	0,0400000
0,0031420	0,2257090	0,0410000
0,0033080	0,2292910	0,0420000
0,0034790	0,2328420	0,0430000
0,0036540	0,2363620	0,0440000
0,0038340	0,2398530	0,0450000
0,0040190	0,2433150	0,0460000
0,0042080	0,2467490	0,0470000
0,0044010	0,2501570	0,0480000
0,0046990	0,2535370	0,0490000
0,0048020	0,2568930	0,0500000
0,0050090	0,2602230	0,0510000
0,0052210	0,2635280	0,0520000
0,0054380	0,2668100	0,0530000
0,0056590	0,2700680	0,0540000
0,0058850	0,2733040	0,0550000
0,0061150	0,2765170	0,0560000
0,0063500	0,2797090	0,0570000
0,0065900	0,2828790	0,0580000
0,0068340	0,2860290	0,0590000
0,0070830	0,2891580	0,0600000
0,0073370	0,2922670	0,0610000
0,0075950	0,2953560	0,0620000

Continuación de anexo 2.

q/Q	v/V	d/D
0,0075580	0,2984270	0,0630000
0,0081260	0,3014780	0,0640000
0,0083980	0,3045120	0,0650000
0,0086750	0,3075270	0,0660000
0,0089560	0,3105240	0,0670000
0,0092430	0,3135040	0,0680000
0,0095330	0,3164660	0,0690000
0,0098290	0,3194120	0,0700000
0,0101290	0,3223420	0,0710000
0,0104340	0,3252550	0,0720000
0,0107440	0,3281520	0,0730000
0,0110580	0,3310340	0,0740000
0,0113770	0,3339000	0,0750000
0,0117010	0,3367510	0,0760000
0,0120290	0,3395870	0,0770000
0,0123620	0,3424080	0,0780000
0,0127000	0,3452150	0,0790000
0,0130430	0,3480070	0,0800000
0,0133900	0,3507860	0,0810000
0,0137420	0,3535510	0,0820000
0,0140980	0,3563020	0,0830000
0,0144590	0,3590390	0,0840000
0,0148250	0,3617640	0,0850000
0,0151960	0,3644750	0,0860000
0,0155710	0,3671730	0,0870000
0,0159510	0,3698590	0,0880000
0,0163360	0,3725320	0,0890000
0,0167260	0,3751930	0,0900000
0,0171200	0,3778420	0,0910000
0,0175180	0,3804790	0,0920000
0,0179220	0,3831030	0,0930000

q/Q	v/V	d/D
0,0183300	0,3857170	0,0940000
0,0187430	0,3883180	0,0950000
0,0191610	0,3909080	0,0960000
0,0195830	0,3934870	0,0970000
0,0200100	0,3960550	0,0980000
0,0204410	0,3986110	0,0990000
0,0208780	0,4011570	0,1000000
0,0213190	0,4036920	0,1010000
0,0217650	0,4062160	0,1020000
0,0222150	0,4087300	0,1030000
0,0226700	0,4112340	0,1040000
0,0231300	0,4137270	0,1050000
0,0235940	0,4162100	0,1060000
0,0240630	0,4186830	0,1070000
0,0245370	0,4211460	0,1080000
0,0250150	0,4235990	0,1090000
0,0254980	0,4260420	0,1100000
0,0259860	0,4284760	0,1110000
0,0264790	0,4309010	0,1120000
0,0269760	0,4333160	0,1130000
0,0274770	0,4357210	0,1140000
0,0279840	0,4381170	0,1150000
0,0284950	0,4405050	0,1160000
0,0290100	0,4428830	0,1170000
0,0295310	0,4452520	0,1180000
0,0300560	0,4476120	0,1190000
0,0305850	0,4499640	0,1200000
0,0311190	0,4523070	0,1210000
0,0316580	0,4546410	0,1220000
0,0322020	0,4569670	0,1230000
0,0327500	0,4592840	0,1240000

Continuación de anexo 2.

q/Q	v/V	d/D
0,0330200	0,4615930	0,1250000
0,0338600	0,4638930	0,1260000
0,0344220	0,4661850	0,1270000
0,0349880	0,4684700	0,1280000
0,0355590	0,4707460	0,1290000
0,0361350	0,4730140	0,1300000
0,0367150	0,4752740	0,1310000
0,0373000	0,4775260	0,1320000
0,0378900	0,4797700	0,1330000
0,0384840	0,4820070	0,1340000
0,0390830	0,4842360	0,1350000
0,0396860	0,4864570	0,1360000
0,0402940	0,4886710	0,1370000
0,0409060	0,4908770	0,1380000
0,0415230	0,4930760	0,1390000
0,0421540	0,4952680	0,1400000
0,0427710	0,4974520	0,1410000
0,0434010	0,4996290	0,1420000
0,0440360	0,5017990	0,1430000
0,0446760	0,5039610	0,1440000
0,0453200	0,5061170	0,1450000
0,0459690	0,5082650	0,1460000
0,0466220	0,5104070	0,1470000
0,0472800	0,5125410	0,1480000
0,0479430	0,5146690	0,1490000
0,0486090	0,5167900	0,1500000
0,0492810	0,5189040	0,1510000
0,0499560	0,5210110	0,1520000
0,0506370	0,5231120	0,1530000
0,0513220	0,5252060	0,1540000
0,0520110	0,5272930	0,1550000

q/Q	v/V	d/D
0,0527050	0,5293740	0,1560000
0,0534030	0,5314490	0,1570000
0,0541060	0,5335170	0,1580000
0,0548130	0,5355780	0,1590000
0,0555240	0,5376330	0,1600000
0,0562400	0,5396820	0,1610000
0,0569610	0,5417250	0,1620000
0,0576860	0,5437610	0,1630000
0,0584150	0,5457920	0,1640000
0,0591490	0,5478160	0,1650000
0,0598870	0,5498340	0,1660000
0,0606300	0,5518450	0,1670000
0,0613770	0,5538510	0,1680000
0,0621280	0,5558510	0,1690000
0,0628840	0,5578450	0,1700000
0,0636440	0,5598330	0,1710000
0,0644090	0,5618150	0,1720000
0,0651780	0,5637910	0,1730000
0,0659510	0,5657620	0,1740000
0,0667290	0,5677260	0,1750000
0,0675110	0,5696850	0,1760000
0,0682980	0,5716380	0,1770000
0,0690880	0,5735860	0,1780000
0,0698830	0,5755280	0,1790000
0,0706830	0,5774640	0,1800000
0,0714870	0,5793950	0,1810000
0,0722950	0,5813200	0,1820000
0,0731070	0,5832400	0,1830000
0,0739240	0,5851540	0,1840000
0,0747450	0,5870630	0,1850000
0,0755700	0,5889660	0,1860000

Continuación de anexo 2.

q/Q	v/V	d/D
0,0754000	0,5908640	0,1870000
0,0772340	0,5927560	0,1880000
0,0780720	0,5946440	0,1890000
0,0789140	0,5965260	0,1900000
0,0797610	0,5984020	0,1910000
0,0806120	0,6002740	0,1920000
0,0814670	0,6021400	0,1930000
0,0823260	0,6040010	0,1940000
0,0831900	0,6058570	0,1950000
0,0840580	0,6077080	0,1960000
0,0849300	0,6095530	0,1970000
0,0858060	0,6113940	0,1980000
0,0866870	0,6132300	0,1990000
0,0875710	0,6150600	0,2000000
0,0884600	0,6168860	0,2010000
0,0893530	0,6187060	0,2020000
0,0902500	0,6205220	0,2030000
0,0911520	0,6223320	0,2040000
0,0920570	0,6241380	0,2050000
0,0929670	0,6259390	0,2060000
0,0938810	0,6277350	0,2070000
0,0947990	0,6295260	0,2080000
0,0957210	0,6313120	0,2090000
0,0966470	0,6330940	0,2100000
0,0975770	0,6348710	0,2110000
0,0985120	0,6366430	0,2120000
0,0994500	0,6384100	0,2130000
0,1003930	0,6401730	0,2140000
0,1013400	0,6419310	0,2150000
0,1022900	0,6436840	0,2160000
0,1032450	0,6454330	0,2170000

q/Q	v/V	d/D
0,1042040	0,6471770	0,2180000
0,1051670	0,6489170	0,2190000
0,1061340	0,6506520	0,2200000
0,1071050	0,6523820	0,2210000
0,1080800	0,6541080	0,2220000
0,1090590	0,6558300	0,2230000
0,1100420	0,6575460	0,2240000
0,1110290	0,6592590	0,2250000
0,1120200	0,6609670	0,2260000
0,1130150	0,6626700	0,2270000
0,1140140	0,6643700	0,2280000
0,1150170	0,6660640	0,2290000
0,1160240	0,6677550	0,2300000
0,1170350	0,6694410	0,2310000
0,1180500	0,6711220	0,2320000
0,1190690	0,6728000	0,2330000
0,1200910	0,6744730	0,2340000
0,1211180	0,6761420	0,2350000
0,1221490	0,6778060	0,2360000
0,1231830	0,6794660	0,2370000
0,1242210	0,6811220	0,2380000
0,1252630	0,6827740	0,2390000
0,1263100	0,6844220	0,2400000
0,1273600	0,6860650	0,2410000
0,1284130	0,6877040	0,2420000
0,1294710	0,6893690	0,2430000
0,1305330	0,6906700	0,2440000
0,1315980	0,6925970	0,2450000
0,1326670	0,6942200	0,2460000
0,1337400	0,6958390	0,2470000
0,1348170	0,6974530	0,2480000

Continuación de anexo 2.

q/Q	v/V	d/D
0,1358970	0,6990640	0,2490000
0,1369820	0,7006700	0,2500000
0,1380700	0,7022730	0,2510000
0,1391630	0,7038710	0,2520000
0,1402580	0,7054660	0,2530000
0,1413570	0,7070560	0,2540000
0,1424600	0,7086420	0,2550000
0,1435670	0,7102250	0,2560000
0,1446780	0,7118040	0,2570000
0,1457920	0,7133780	0,2580000
0,1469100	0,7149490	0,2590000
0,1480320	0,7165160	0,2600000
0,1491580	0,7180790	0,2610000
0,1502870	0,7196380	0,2620000
0,1514200	0,7211930	0,2630000
0,1525560	0,7227450	0,2640000
0,1536960	0,7242920	0,2650000
0,1548400	0,7258360	0,2660000
0,1559880	0,7273760	0,2670000
0,1571390	0,7289120	0,2680000
0,1582930	0,7304440	0,2690000
0,1594520	0,7319730	0,2700000
0,1606130	0,7334980	0,2710000
0,1617790	0,7350190	0,2720000
0,1629480	0,7365360	0,2730000
0,1641210	0,7380500	0,2740000
0,1652970	0,7395600	0,2750000
0,1664770	0,7410660	0,2760000
0,1676600	0,7425680	0,2770000
0,1688470	0,7440670	0,2780000
0,1700370	0,7455630	0,2790000

q/Q	v/V	d/D
0,1712310	0,7470540	0,2800000
0,1724280	0,7485420	0,2810000
0,1736290	0,7500260	0,2820000
0,1748330	0,7515070	0,2830000
0,1760410	0,7529840	0,2840000
0,1772530	0,7544580	0,2850000
0,1784670	0,7559270	0,2860000
0,1796860	0,7573940	0,2870000
0,1809070	0,7588560	0,2880000
0,1821320	0,7603160	0,2890000
0,1833610	0,7617710	0,2900000
0,1845930	0,7632230	0,2910000
0,1858280	0,7646720	0,2920000
0,1870660	0,7661170	0,2930000
0,1883090	0,7675590	0,2940000
0,1895540	0,7689970	0,2950000
0,1908030	0,7704310	0,2960000
0,1920550	0,7718630	0,2970000
0,1933100	0,7732900	0,2980000
0,1945690	0,7747150	0,2990000
0,1958310	0,7761350	0,3000000
0,1970970	0,7775530	0,3010000
0,1983650	0,7789670	0,3020000
0,1996370	0,7803770	0,3030000
0,2009130	0,7817840	0,3040000
0,2021910	0,7831880	0,3050000
0,2034730	0,7845880	0,3060000
0,2047580	0,7859850	0,3070000
0,2060460	0,7873790	0,3080000
0,2073380	0,7887690	0,3090000
0,2086330	0,7901560	0,3100000

Continuación de anexo 2.

q/Q	v/V	d/D
0,2099300	0,7915390	0,3110000
0,2112320	0,7929200	0,3120000
0,2125360	0,7942970	0,3130000
0,2138430	0,7956700	0,3140000
0,2151540	0,7970400	0,3150000
0,2164680	0,7984070	0,3160000
0,2177850	0,7997710	0,3170000
0,2191050	0,8011310	0,3180000
0,2204280	0,8024880	0,3190000
0,2217550	0,8038420	0,3200000
0,2230840	0,8051930	0,3210000
0,2244160	0,8065400	0,3220000
0,2257520	0,8078840	0,3230000
0,2270910	0,8092250	0,3240000
0,2284330	0,8105630	0,3250000
0,2297770	0,8118970	0,3260000
0,2311250	0,8132280	0,3270000
0,2324760	0,8145560	0,3280000
0,2338300	0,8158810	0,3290000
0,2351870	0,8172030	0,3300000
0,2365470	0,8185210	0,3310000
0,2379100	0,8198360	0,3320000
0,2392750	0,8211480	0,3330000
0,2406440	0,8224570	0,3340000
0,2420160	0,8237630	0,3350000
0,2433910	0,8250650	0,3360000
0,2447680	0,8263650	0,3370000
0,2461490	0,8276610	0,3380000
0,2475320	0,8289540	0,3390000
0,2489190	0,8302440	0,3400000
0,2503080	0,8315310	0,3410000

q/Q	v/V	d/D
0,2517000	0,8328150	0,3420000
0,2530950	0,8340960	0,3430000
0,2544930	0,8353740	0,3440000
0,2558940	0,8366480	0,3450000
0,2572970	0,8379200	0,3460000
0,2587040	0,8391880	0,3470000
0,2601130	0,8404540	0,3480000
0,2615250	0,8417160	0,3490000
0,2629400	0,8429750	0,3500000
0,2643570	0,8442310	0,3510000
0,2657780	0,8454850	0,3520000
0,2672010	0,8467350	0,3530000
0,2686270	0,8479820	0,3540000
0,2700550	0,8492260	0,3550000
0,2714870	0,8504670	0,3560000
0,2729210	0,8517050	0,3570000
0,2713570	0,8529400	0,3580000
0,2757970	0,8541720	0,3590000
0,2772390	0,8554010	0,3600000
0,2786840	0,8566270	0,3610000
0,2801310	0,8575800	0,3620000
0,2815810	0,8590700	0,3630000
0,2830340	0,8602880	0,3640000
0,2844890	0,8615020	0,3650000
0,2859470	0,8627130	0,3660000
0,2874070	0,8639210	0,3670000
0,2888710	0,8651270	0,3680000
0,2903360	0,8663290	0,3690000
0,2918050	0,8675280	0,3700000
0,2932750	0,8687250	0,3710000
0,2947490	0,8699180	0,3720000

Continuación de anexo 2.

q/Q	v/V	d/D
0,2962250	0,2962250	0,3730000
0,2977030	0,9770300	0,3740000
0,2991840	0,9918400	0,3750000
0,3006670	0,8746640	0,3760000
0,3021530	0,8758430	0,3770000
0,3036420	0,8770190	0,3780000
0,3051320	0,8781920	0,3790000
0,3066260	0,8793620	0,3800000
0,3081210	0,8805300	0,3810000
0,3096200	0,8816940	0,3820000
0,3111200	0,8828560	0,3830000
0,3126230	0,8840150	0,3840000
0,3141280	0,8851710	0,3850000
0,3156360	0,8863240	0,3860000
0,3171460	0,8874740	0,3870000
0,3186590	0,8886220	0,3880000
0,3201740	0,8897660	0,3890000
0,3116910	0,8909080	0,3900000
0,3232100	0,8920470	0,3910000
0,3247320	0,8931830	0,3920000
0,3262560	0,8943160	0,3930000
0,3277820	0,8954470	0,3940000
0,3293110	0,8965740	0,3950000
0,3308420	0,8976990	0,3960000
0,3323750	0,8988210	0,3970000
0,3339100	0,8999400	0,3980000
0,3354480	0,9010570	0,3990000
0,3369880	0,9021700	0,4000000
0,3385300	0,9032810	0,4010000
0,3400740	0,9043890	0,4020000
0,3416200	0,9054950	0,4030000

q/Q	v/V	d/D
0,3431690	0,9065970	0,4040000
0,3447200	0,9076970	0,4050000
0,3462720	0,9087940	0,4060000
0,3478270	0,9098880	0,4070000
0,3493850	0,9108790	0,4080000
0,3509440	0,9120680	0,4090000
0,3525050	0,9131540	0,4100000
0,3540680	0,9142370	0,4110000
0,3556340	0,9153170	0,4120000
0,3572010	0,9163950	0,4130000
0,3587710	0,9174700	0,4140000
0,3603420	0,9185420	0,4150000
0,3619160	0,9186110	0,4160000
0,3634920	0,9205780	0,4170000
0,3650690	0,9217420	0,4180000
0,3666490	0,9228030	0,4190000
0,3682300	0,9238620	0,4200000
0,3698140	0,9249180	0,4210000
0,3713990	0,9259710	0,4220000
0,3729860	0,9270210	0,4230000
0,3745760	0,9280690	0,4240000
0,3761670	0,9291140	0,4250000
0,3776000	0,9301560	0,4260000
0,3793550	0,9311960	0,4270000
0,3809520	0,9322330	0,4280000
0,3825510	0,9332670	0,4290000
0,3841510	0,9342990	0,4300000
0,3857530	0,9353270	0,4310000
0,3873580	0,9363540	0,4320000
0,3889640	0,9373770	0,4330000
0,3905710	0,9383980	0,4340000

Continuación de anexo 2.

q/Q	v/V	d/D
0,3921810	0,9394160	0,4350000
0,3937920	0,9404320	0,4360000
0,3954050	0,9414450	0,4370000
0,3970200	0,9424550	0,4380000
0,3986370	0,9434620	0,4390000
0,4002550	0,9444670	0,4400000
0,4018750	0,9454690	0,4410000
0,4034970	0,9464690	0,4420000
0,4051200	0,9474660	0,4430000
0,4067450	0,9484600	0,4440000
0,4083720	0,9494520	0,4450000
0,4100000	0,9504410	0,4460000
0,4116300	0,9514270	0,4470000
0,4132620	0,9524110	0,4480000
0,4148950	0,9533920	0,4490000
0,4165300	0,9543710	0,4500000
0,4181660	0,9553460	0,4510000
0,4198040	0,9563200	0,4520000
0,4214430	0,9572900	0,4530000
0,4230840	0,9582580	0,4540000
0,4247270	0,9592240	0,4550000
0,4263710	0,9501870	0,4560000
0,4280160	0,9611470	0,4570000
0,4296630	0,9621040	0,4580000
0,4313120	0,9630590	0,4590000
0,4329620	0,9640120	0,4600000
0,4346130	0,9649620	0,4610000
0,4362660	0,9659090	0,4620000
0,4379200	0,9668530	0,4630000
0,4395760	0,9677950	0,4640000
0,4412330	0,9687350	0,4650000

q/Q	v/V	d/D
0,4428910	0,9696720	0,4660000
0,4445510	0,9706060	0,4670000
0,4462120	0,9715380	0,4680000
0,4478740	0,9724670	0,4690000
0,4495380	0,9733930	0,4700000
0,4512030	0,9743170	0,4710000
0,4528690	0,9752380	0,4720000
0,4545370	0,9761570	0,4730000
0,4562060	0,9770740	0,4740000
0,4578760	0,9779870	0,4750000
0,4595480	0,9788980	0,4760000
0,4612200	0,9798070	0,4770000
0,4628940	0,9807130	0,4780000
0,4645690	0,9816160	0,4790000
0,4662460	0,9825170	0,4800000
0,4679230	0,9834150	0,4810000
0,4696020	0,9834110	0,4820000
0,4712810	0,9852040	0,4830000
0,4729620	0,9860950	0,4840000
0,4746440	0,9869830	0,4850000
0,4763270	0,9878690	0,4860000
0,4780120	0,9887520	0,4870000
0,4796970	0,9896320	0,4880000
0,4813830	0,9905100	0,4890000
0,4830710	0,9913850	0,4900000
0,4847590	0,9922580	0,4910000
0,4864490	0,9931290	0,4920000
0,4881390	0,9939960	0,4930000
0,4898310	0,9948620	0,4940000
0,4915230	0,9957240	0,4950000
0,4932170	0,9965850	0,4960000

Continuación de anexo 2.

q/Q	v/V	d/D
0,4949110	0,9974420	0,4970000
0,4966070	0,9982970	0,4980000
0,4983030	0,9991500	0,4990000
0,5000000	1,0000000	0,5000000
0,5016980	1,0008480	0,5010000
0,5033970	1,0016930	0,5020000
0,5050970	1,0025350	0,5030000
0,5067980	1,0033750	0,5040000
0,5084990	1,0042130	0,5050000
0,5102020	1,0050480	0,5060000
0,51190500	1,0058800	0,5070000
0,5136090	1,0067100	0,5080000
0,5153140	1,0075370	0,5090000
0,5170190	1,0083620	0,5100000
0,5187260	1,0091850	0,5110000
0,5204330	1,0100050	0,5120000
0,5221400	1,0108220	0,5130000
0,5238490	1,0116370	0,5140000
0,5255580	1,0124490	0,5150000
0,5272680	1,0132590	0,5160000
0,5289790	1,0140670	0,5170000
0,5306900	1,0148720	0,5180000
0,5324020	1,0156740	0,5190000
0,5341140	1,0164740	0,5200000
0,5358280	1,0172710	0,5210000
0,5374410	1,0180660	0,5220000
0,5392560	1,0188590	0,5230000
0,5409700	1,0196490	0,5240000
0,5426860	1,0204360	0,5250000
0,5444020	1,0212210	0,5260000
0,5461180	1,0220030	0,5270000

q/Q	v/V	d/D
0,5478360	1,0227830	0,5280000
0,5495530	1,0235610	0,5290000
0,5512710	1,0243360	0,5300000
0,5529900	1,0251080	0,5310000
0,5547090	1,0258780	0,5320000
0,5564280	1,0266460	0,5330000
0,5581480	1,0274110	0,5340000
0,5598680	1,0281730	0,5350000
0,5615890	1,0289330	0,5360000
0,5633100	1,0296910	0,5370000
0,5650310	1,0304460	0,5380000
0,5667530	1,0311980	0,5390000
0,5684750	1,0319490	0,5400000
0,5701970	1,0326960	0,5410000
0,5719200	1,0334410	0,5420000
0,5736430	1,03418400	0,5430000
0,5753660	1,0349240	0,5440000
0,5770900	1,0356620	0,5450000
0,5788140	1,0363970	0,5460000
0,5805380	1,0371300	0,5470000
0,5822620	1,0378600	0,5480000
0,5839860	1,0385880	0,5490000
0,5857110	1,0393130	0,5500000
0,5874360	1,0400360	0,5510000
0,5891610	1,0407560	0,5520000
0,5908860	1,0414740	0,5530000
0,5926110	1,0421900	0,5540000
0,5943360	1,0429030	0,5550000
0,5960620	1,0436130	0,5560000
0,5977870	1,0443210	0,5570000
0,5995130	1,0450270	0,5580000

Continuación de anexo 2.

q/Q	v/V	d/D
0,6012390	1,0457300	0,5590000
0,6029640	1,0464300	0,5600000
0,6046900	1,0471280	0,5610000
0,6064160	1,0478240	0,5620000
0,6081410	1,0485170	0,5630000
0,6098670	1,0492080	0,5640000
0,6115930	1,0498960	0,5650000
0,6133180	1,0505820	0,5660000
0,6150440	1,0512650	0,5670000
0,6167690	1,0519460	0,5680000
0,6184940	1,0526240	0,5690000
0,6202190	1,0533000	0,5700000
0,6219440	1,0539730	0,5710000
0,6236690	1,0546440	0,5720000
0,6253940	1,0553120	0,5730000
0,6271190	1,0559780	0,5740000
0,6288430	1,0566420	0,5750000
0,6305670	1,0573020	0,5760000
0,6322910	1,0579610	0,5770000
0,6340150	1,0586170	0,5780000
0,6357380	1,0592710	0,5790000
0,6374610	1,0599220	0,5800000
0,6391840	1,0605700	0,5810000
0,6409060	1,0612160	0,5820000
0,6426290	1,0618600	0,5830000
0,6443500	1,0625010	0,5840000
0,6460720	1,0631400	0,5850000
0,6477930	1,0637760	0,5860000
0,6495140	1,0644100	0,5870000
0,6512340	1,0650410	0,5880000
0,6529540	1,0656700	0,5890000

q/Q	v/V	d/D
0,6546730	1,0662960	0,5900000
0,6563920	1,0669200	0,5910000
0,6581110	1,0675410	0,5920000
0,6598290	1,0681600	0,5930000
0,6615460	1,0687760	0,5940000
0,6632630	1,0693900	0,5950000
0,6649800	1,0700010	0,5960000
0,6666960	1,0705100	0,5970000
0,6684110	1,0712170	0,5980000
0,6701260	1,0718210	0,5990000
0,6718400	1,0724220	0,6000000
0,6735540	1,0730210	0,6010000
0,6752670	1,0736170	0,6020000
0,6769790	1,0742110	0,6030000
0,6786910	1,0748030	0,6040000
0,6804010	1,0753920	0,6050000
0,6821120	1,0759780	0,6060000
0,6838210	1,0765620	0,6070000
0,6855300	1,0771440	0,6080000
0,6872380	1,0777230	0,6090000
0,6889450	1,0783000	0,6100000
0,6906520	1,0788740	0,6110000
0,6923570	1,0794450	0,6120000
0,6940620	1,0800140	0,6130000
0,6957660	1,0805810	0,6140000
0,6974690	1,0811450	0,6150000
0,6991720	1,0817060	0,6160000
0,7008730	1,0822650	0,6170000
0,7025740	1,0828220	0,6180000
0,7142730	1,0833760	0,6190000
0,7059720	1,0839270	0,6200000

Continuación de anexo 2.

q/Q	v/V	d/D
0,7076690	1,0844760	0,6210000
0,7093660	1,0850230	0,6220000
0,7110620	1,0855670	0,6230000
0,7127570	1,0861080	0,6240000
0,7144500	1,0866470	0,6250000
0,7161430	1,0871840	0,6260000
0,7178340	1,0877180	0,6270000
0,7195250	1,0882490	0,6280000
0,7212140	1,0887780	0,6290000
0,7229030	1,0893050	0,6300000
0,7245900	1,0898290	0,6310000
0,7262760	1,0903500	0,6320000
0,7279610	1,0908690	0,6330000
0,7296450	1,0913850	0,6340000
0,7313270	1,0918990	0,6350000
0,7330080	1,0924100	0,6360000
0,7346880	1,0929190	0,6370000
0,7363670	1,0934250	0,6380000
0,7380450	1,0939290	0,6390000
0,7397210	1,0944300	0,6400000
0,7413960	1,0949280	0,6410000
0,7430690	1,0954240	0,6420000
0,7447420	1,0959180	0,6430000
0,7464130	1,0964090	0,6440000
0,7480820	1,0968970	0,6450000
0,7497500	1,0973830	0,6460000
0,7514170	1,0978660	0,6470000
0,7530820	1,0983470	0,6480000
0,7547460	1,0988250	0,6490000
0,7564080	1,0993010	0,6500000
0,7580690	1,0997740	0,6510000

q/Q	v/V	d/D
0,7597290	1,1002450	0,6520000
0,7613870	1,1007130	0,6530000
0,7630430	1,1011780	0,6540000
0,7646980	1,1016410	0,6550000
0,7663510	1,1021010	0,6560000
0,7680020	1,1025590	0,6570000
0,7696520	1,1030140	0,6570000
0,7713010	1,1034670	0,6590000
0,7729470	1,1039170	0,6600000
0,7745920	1,1043640	0,6610000
0,7762360	1,1048090	0,6620000
0,7778770	1,1052510	0,6630000
0,7795170	1,1056910	0,6640000
0,7811550	1,1061280	0,6650000
0,7827910	1,1065630	0,6660000
0,7844260	1,1069950	0,6670000
0,7860590	1,1074240	0,6680000
0,7876900	1,1078510	0,6690000
0,7893190	1,1082750	0,6700000
0,7909460	1,1086960	0,6710000
0,7925710	1,1091150	0,6720000
0,7941950	1,1095320	0,6730000
0,7958180	1,1099450	0,6740000
0,7974360	1,1103560	0,6750000
0,7990540	1,1107650	0,6760000
0,8006690	1,1111710	0,6770000
0,8022830	1,1115740	0,6780000
0,8038950	1,1119740	0,6790000
0,8055040	1,1123720	0,6800000
0,8071120	1,1127680	0,6810000
0,8087170	1,1131600	0,6820000

Continuación de anexo 2.

q/Q	v/V	d/D
0,8103210	1,1135500	0,6830000
0,8119220	1,1139380	0,6840000
0,8135210	1,1143230	0,6850000
0,8151180	1,1147050	0,6860000
0,8167130	1,1150840	0,6870000
0,8183050	1,1154610	0,6880000
0,8198960	1,1158350	0,6890000
0,8214840	1,1162070	0,6900000
0,8230700	1,1165750	0,6910000
0,8246530	1,1169420	0,6920000
0,8262350	1,1173050	0,6930000
0,8278140	1,1176660	0,6940000
0,8293900	1,1180240	0,6950000
0,8309640	1,1183800	0,6960000
0,8325360	1,1187320	0,6970000
0,8341060	1,1190820	0,6980000
0,8356730	1,1194300	0,6990000
0,8372380	1,1197740	0,7000000
0,8388000	1,1201160	0,7010000
0,8403600	1,1204560	0,7020000
0,8419170	1,1207920	0,7030000
0,8434710	1,1211260	0,7040000
0,8450240	1,1214570	0,7050000
0,8465730	1,1217860	0,7060000
0,8481200	1,1221110	0,7070000
0,8496640	1,1224340	0,7080000
0,8512060	1,1227550	0,7090000
0,8557450	1,1230720	0,7100000
0,8542820	1,1233870	0,7110000
0,8558150	1,1236990	0,7120000
0,8573460	1,1240080	0,7130000

q/Q	v/V	d/D
0,8588750	1,1243150	0,7140000
0,8604000	1,1246180	0,7150000
0,8619230	1,1249190	0,7160000
0,8634430	1,1252180	0,7170000
0,8649600	1,1255130	0,7180000
0,8664740	1,1258060	0,7190000
0,8679850	1,1260960	0,7200000
0,8694940	1,1263830	0,7210000
0,8709990	1,1266670	0,7220000
0,8725020	1,1269480	0,7230000
0,8740020	1,1272270	0,7240000
0,8754980	1,1275030	0,7250000
0,8769920	1,1277760	0,7260000
0,8784820	1,1280460	0,7270000
0,8799700	1,1283140	0,7280000
0,8814550	1,1285790	0,7290000
0,8829360	1,1288400	0,7300000
0,8844140	1,1290990	0,7310000
0,8858890	1,1293550	0,7320000
0,8873610	1,1296090	0,7330000
0,8888300	1,1298590	0,7340000
0,8902960	1,1301070	0,7350000
0,8917580	1,1303510	0,7360000
0,8932170	1,1305930	0,7370000
0,8946730	1,1308320	0,7380000
0,8961250	1,1310680	0,7390000
0,8975750	1,1313010	0,7400000
0,8990200	1,1315320	0,7410000
0,9004630	1,1317590	0,7420000
0,9019020	1,1319830	0,7430000
0,9033370	1,1322050	0,7440000

Continuación de anexo 2.

q/Q	v/V	d/D
0,9047700	1,1324240	0,7450000
0,9061980	1,1326390	0,7460000
0,9076230	1,1328520	0,7470000
0,9090450	1,1330620	0,7480000
0,9104630	1,1332690	0,7490000
0,9118780	1,1334730	0,7500000
0,9132890	1,1336740	0,7510000
0,9146960	1,1338720	0,7520000
0,9161000	1,1340670	0,7530000
0,9175000	1,1342590	0,7540000
0,9188960	1,1344480	0,7550000
0,9202880	1,1346340	0,7560000
0,9216770	1,1348170	0,7570000
0,9230620	1,1349980	0,7580000
0,9244430	1,1351750	0,7590000
0,9258210	1,1353490	0,7600000
0,9271940	1,1355200	0,7610000
0,9285640	1,1356880	0,7620000
0,9299300	1,1358530	0,7630000
0,9312920	1,1360150	0,7640000
0,9326500	1,1361740	0,7650000
0,9340030	1,1363290	0,7660000
0,9353530	1,1364820	0,7670000
0,9366990	1,1366320	0,7680000
0,9380410	1,1367780	0,7690000
0,9393790	1,1369220	0,7700000
0,9407120	1,1370620	0,7710000
0,9420420	1,1371990	0,7720000
0,9433670	1,1373340	0,7730000
0,9446880	1,1374650	0,7740000
0,9460050	1,1375920	0,7750000

q/Q	v/V	d/D
0,9473170	1,1377170	0,7760000
0,9486260	1,1378390	0,7770000
0,9499300	1,1379570	0,7780000
0,9512290	1,1380720	0,7790000
0,9525240	1,1381840	0,7800000
0,9538150	1,1382930	0,7810000
0,9551020	1,1383990	0,7820000
0,9563840	1,1385010	0,7830000
0,9576610	1,1386010	0,7840000
0,9589340	1,1386970	0,7850000
0,9602030	1,1387890	0,7860000
0,9614660	1,1388790	0,7870000
0,9627260	1,1389650	0,7880000
0,9639800	1,1390480	0,7890000
0,9652300	1,1391280	0,7900000
0,9664760	1,1392040	0,7910000
0,9677160	1,1392770	0,7920000
0,9689520	1,1393470	0,7930000
0,9701830	1,1394130	0,7940000
0,9714090	1,1394760	0,7950000
0,9726310	1,1395360	0,7960000
0,9738470	1,1395930	0,7970000
0,9750590	1,1396460	0,7980000
0,9762650	1,1396950	0,7990000
0,9774670	1,1397420	0,8000000
0,9786640	1,1397840	0,8010000
0,9798550	1,1398240	0,8020000
0,9810420	1,1398600	0,8030000
0,9822230	1,1398930	0,8040000
0,9833990	1,1399220	0,8050000
0,9845710	1,1399470	0,8060000

Continuación de anexo 2.

q/Q	v/V	d/D
0,9857370	1,1399700	0,8070000
0,9868970	1,1399880	0,8080000
0,9880530	1,1400040	0,8090000
0,9892030	1,1400150	0,8100000
0,9903480	1,1400230	0,8110000
0,9914870	1,1400280	0,8120000
0,9926210	1,1400290	0,8130000
0,9937500	1,1400270	0,8140000
0,9948730	1,1400210	0,8150000
0,9959910	1,1400110	0,8160000
0,9971030	1,1399980	0,8170000
0,9982090	1,1399810	0,8180000
0,9993100	1,1399600	0,8190000
1,0004050	1,1399360	0,8200000
1,0014950	1,1399080	0,8210000
1,0025790	1,1398770	0,8220000
1,0036570	1,1398410	0,8230000
1,0047290	1,1398020	0,8240000
1,0057950	1,1397600	0,8250000
1,0068560	1,1397130	0,8260000
1,0079100	1,1396630	0,8270000
1,0089590	1,1396090	0,8280000
1,0100020	1,1395510	0,8290000
1,0110380	1,1394890	0,8300000
1,0120690	1,1394240	0,8310000
1,0130930	1,1393550	0,8320000
1,0141120	1,1392820	0,8330000
1,0151240	1,1392040	0,8340000
1,0161300	1,1391240	0,8350000
1,0171290	1,1390390	0,8360000
1,0181220	1,1389500	0,8370000

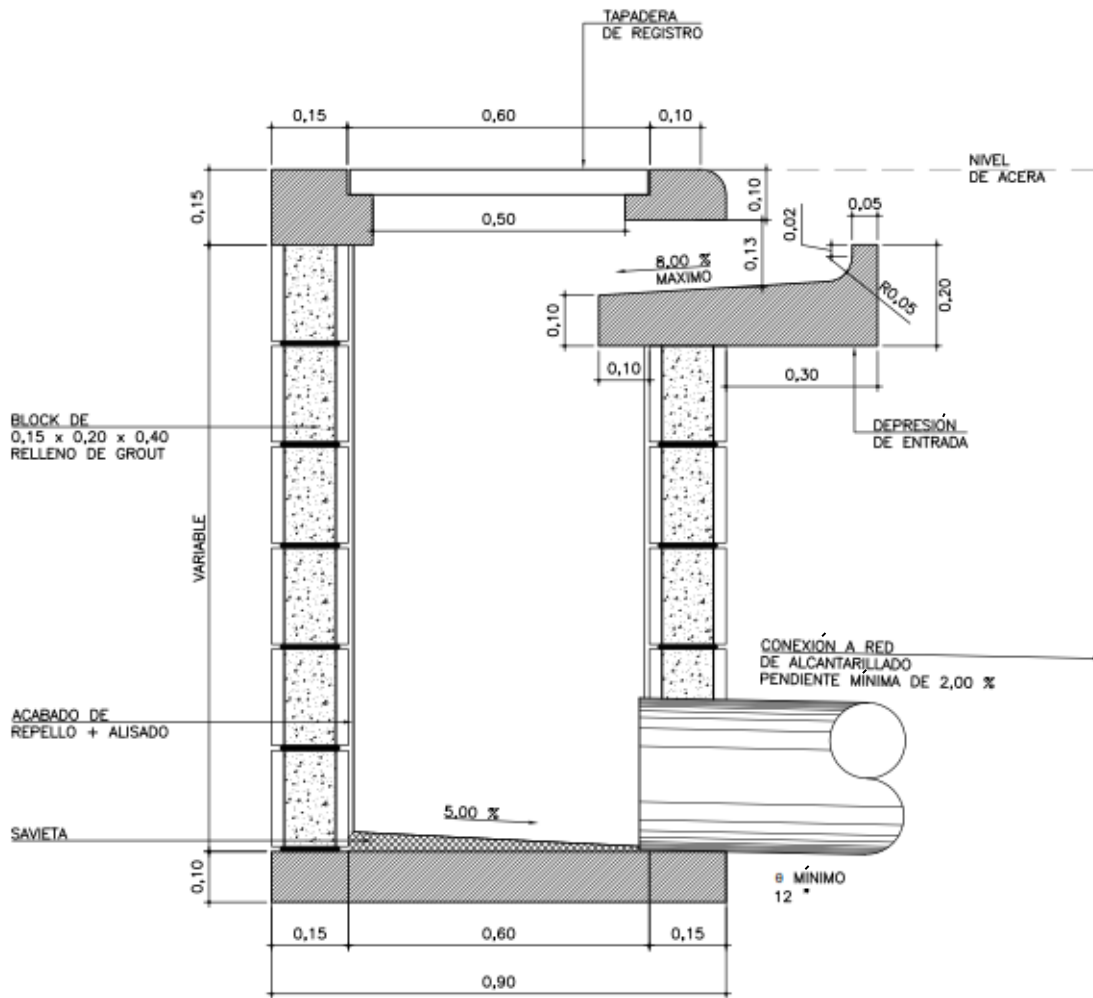
q/Q	v/V	d/D
1,0191090	1,1388570	0,8380000
1,0200900	1,1387600	0,8390000
1,0210640	1,1386590	0,8400000
1,0220310	1,1385550	0,8410000
1,0229920	1,1384460	0,8420000
1,0239470	1,1383330	0,8430000
1,0248950	1,1382160	0,8440000
1,0258360	1,1380950	0,8450000
1,0267700	1,1379700	0,8460000
1,0276980	1,1378400	0,8470000
1,0286190	1,1377070	0,8480000
1,0295330	1,1375690	0,8490000
1,0304400	1,1374270	0,8500000
1,0313410	1,1372810	0,8510000
1,03223400	1,1371300	0,8520000
1,0331200	1,1369760	0,8530000
1,0339990	1,1368170	0,8540000
1,0348710	1,1366530	0,8550000
1,0357360	1,1364860	0,8560000
1,0365940	1,1363130	0,8570000
1,0374440	1,1361370	0,8580000
1,0382870	1,1359560	0,8590000
1,0391220	1,1357700	0,8600000
1,0399510	1,1355800	0,8610000
1,0407710	1,1353860	0,8620000
1,0415840	1,1351870	0,8630000
1,0423900	1,1349830	0,8640000
1,0431870	1,1347750	0,8650000
1,0439780	1,1345620	0,8660000
1,0447600	1,1343450	0,8670000
1,0455340	1,1341230	0,8680000

Continuación de anexo 2.

q/Q	v/V	d/D
1,0463010	1,1338960	0,8690000
1,0470600	1,1336640	0,8700000
1,0478100	1,1334270	0,8710000
1,0485530	1,1331860	0,8720000
1,0492870	1,1329400	0,8730000
1,0500130	1,1326890	0,8740000
1,0507310	1,1324330	0,8750000
1,0514410	1,1321720	0,8760000
1,0521420	1,1319060	0,8770000
1,0528350	1,1316350	0,8780000
1,0535200	1,1313590	0,8790000
1,0541950	1,1310770	0,8800000
1,0548630	1,1307910	0,8810000
1,0555210	1,1304990	0,8820000
1,0561710	1,1302030	0,8830000
1,0568110	1,1299010	0,8840000
1,0574430	1,1295930	0,8850000
1,0580660	1,1292800	0,8860000
1,0586800	1,1289620	0,8870000
1,0592840	1,1286380	0,8880000
1,0598800	1,1283090	0,8890000
1,0604660	1,1279750	0,8900000
1,0610430	1,1276340	0,8910000
1,0616100	1,1272880	0,8920000
1,0621680	1,1269370	0,8930000
1,0627160	1,1265790	0,8940000
1,0632540	1,1262160	0,8950000
1,0637830	1,1258470	0,8960000
1,0643010	1,1254720	0,8970000
1,0648100	1,1250910	0,8980000
1,0653090	1,1247040	0,8990000
1,0657970	1,1243110	0,9000000

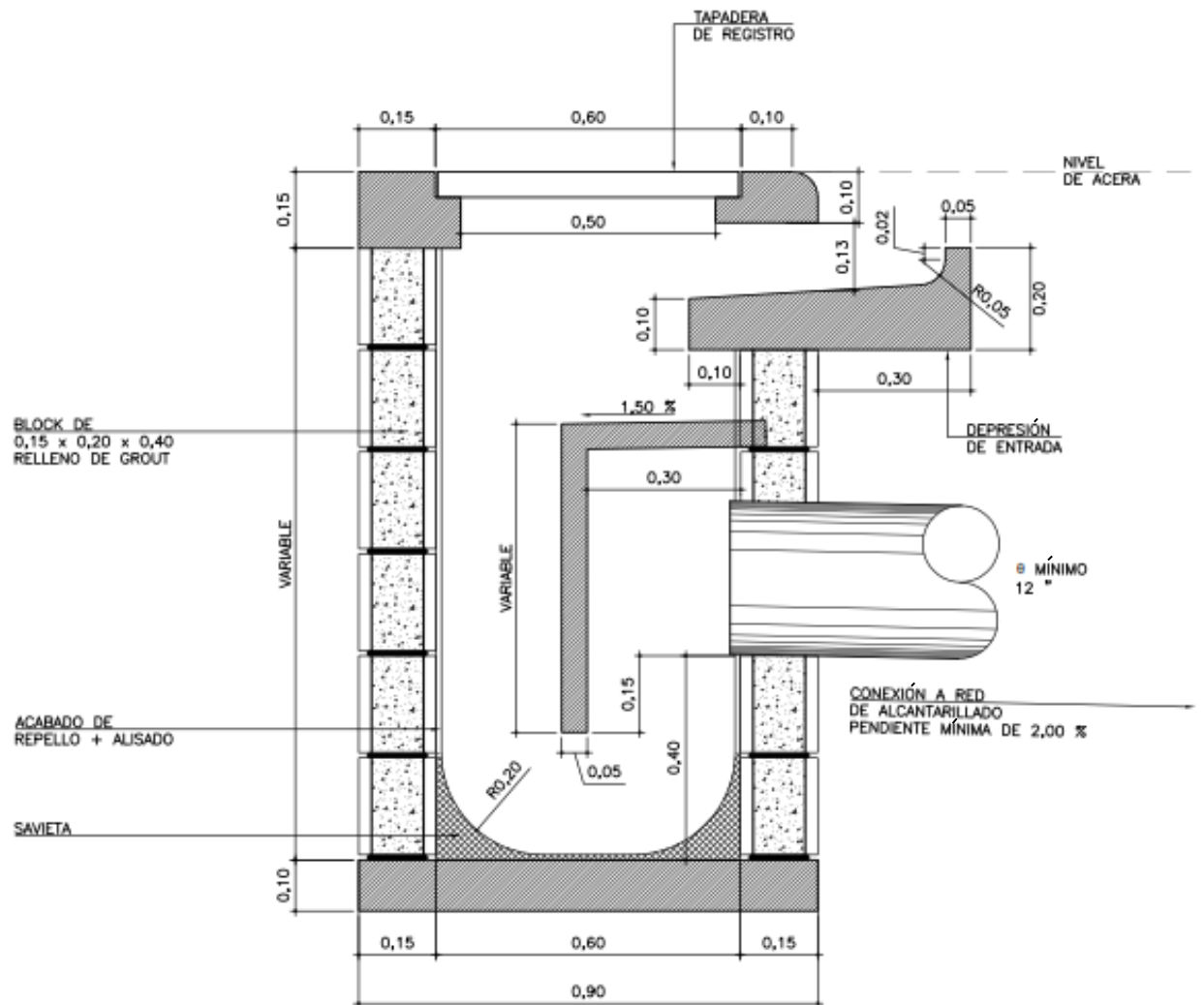
Fuente: *Normas y reglamento de drenajes para la ciudad de Guatemala*. Sección 306.

Anexo 3. Detalle típico de caja de tragante



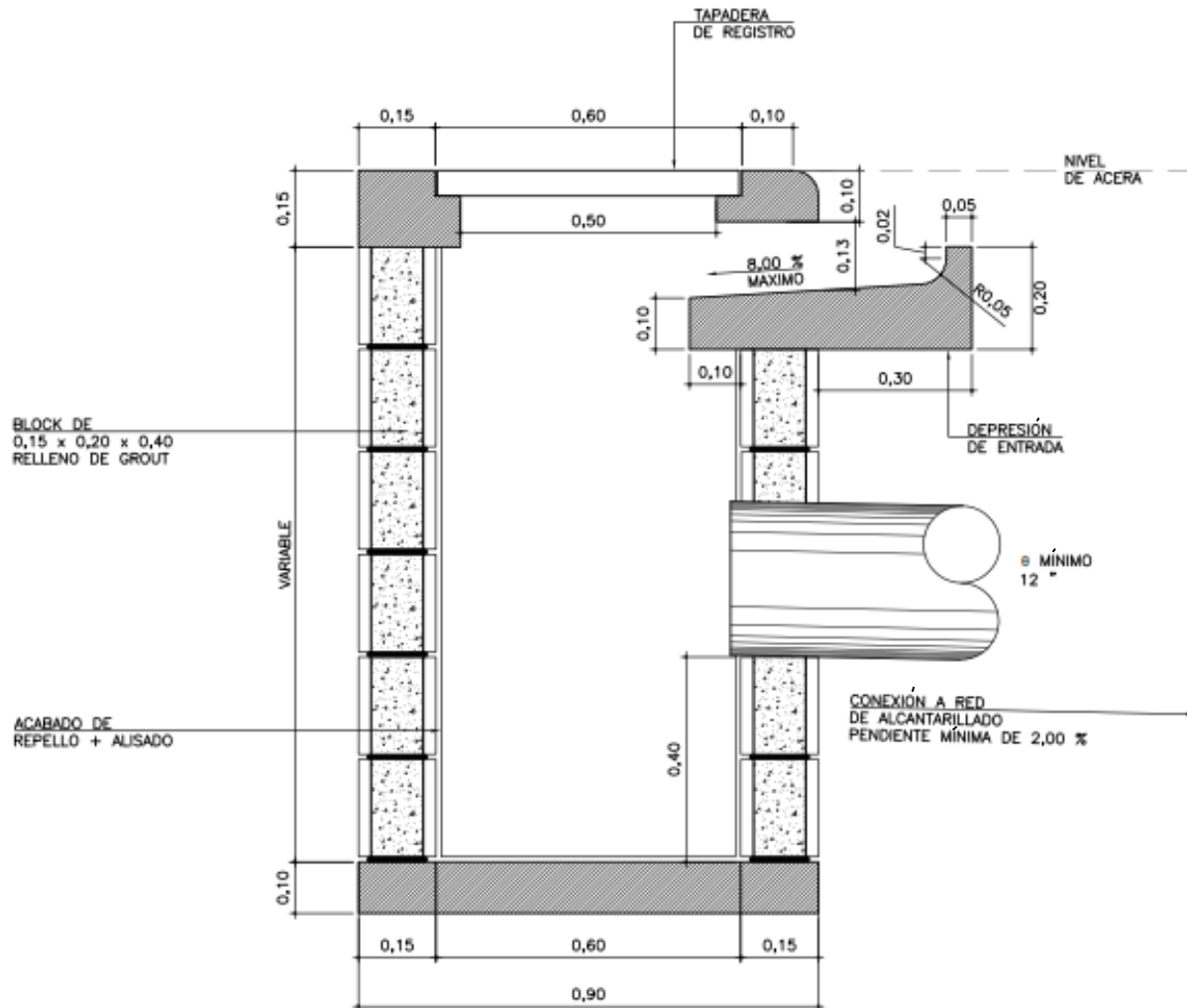
Fuente: elaboración propia con programa AutoCad 2014.

Anexo 4. Detalle típico de caja de tragante con sello hidráulico



Fuente: elaboración propia con programa AutoCad 2014.

Anexo 5. Detalle típico de caja de tragante con desarenador



Fuente: elaboración propia con programa AutoCad 2014.